

## **AGRAR-2013:**

**1<sup>st</sup> conference of African research  
on agriculture, food, and nutrition.**

**Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, June 4-6, 2013**

**Agriculture and the challenges of food and nutrition in  
Africa: the contributions of research in the cotton zone**

## **AGRAR-2013 :**

**1<sup>re</sup> conférence de la recherche africaine sur  
l'agriculture, l'alimentation et la nutrition.**

**Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 4-6 juin 2013**

**L'agriculture face aux défis de l'alimentation et de la  
nutrition en Afrique : quels apports de la recherche dans  
les pays cotonniers**

**Michel Fok  
Ousmane Ndoeye  
Siaka Koné**

**AGRAR-2013:**  
**1<sup>st</sup> conference of African research on agriculture,**  
**food, and nutrition.**  
**Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, June 4-6, 2013**

**AGRAR-2013 :**  
**1<sup>re</sup> conférence de la recherche africaine sur l'agriculture,**  
**l'alimentation et la nutrition.**  
**Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 4-6 juin 2013**



**AGRAR-2013:**  
**1<sup>st</sup> conference of African research on agriculture,**  
**food, and nutrition.**  
**Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, June 4-6, 2013**

**Agriculture and the challenges of food and nutrition in  
Africa: the contributions of research in the cotton zone**

**AGRAR-2013 :**  
**1<sup>re</sup> conférence de la recherche africaine sur**  
**l'agriculture, l'alimentation et la nutrition.**  
**Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 4-6 juin 2013**

**L'agriculture face aux défis de l'alimentation et de la  
nutrition en Afrique : quels apports de la recherche  
dans les pays cotonniers**

**Michel Fok,  
Ousmane Ndoeye,  
Siaka Koné**



2015



© 2015, LES PRESSES AGRONOMIQUES DE GEMBLoux, A.S.B.L.

Passage des Déportés 2 — B-5030 Gembloux (Belgique)

Tél. : +32 (0) 81 62 22 42 – Fax : +32 (0) 81 62 25 52

E-mail : [pressesagro.gembloux@ulg.ac.be](mailto:pressesagro.gembloux@ulg.ac.be) URL : [www.pressesagro.be](http://www.pressesagro.be)

D/2015/1665/138

ISBN 978-2-87016-138-8

*Cette œuvre est sous licence Creative Commons. Vous êtes libre de reproduire, de modifier, de distribuer et de communiquer cette création au public selon les conditions suivantes :*

- *paternité (BY) : vous devez citer le nom de l'auteur original de la manière indiquée par l'auteur de l'œuvre ou le titulaire des droits qui vous confère cette autorisation (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'ils vous soutiennent ou approuvent votre utilisation de l'œuvre) ;*
- *pas d'utilisation commerciale (NC) : vous n'avez pas le droit d'utiliser cette création à des fins commerciales ;*
- *partage des conditions initiales à l'identique (SA) : si vous modifiez, transformez ou adaptez cette création, vous n'avez le droit de distribuer la création qui en résulte que sous un contrat identique à celui-ci.*

*À chaque réutilisation ou distribution de cette création, vous devez faire apparaître clairement au public les conditions contractuelles de sa mise à disposition. Chacune de ces conditions peut être levée si vous obtenez l'autorisation du titulaire des droits sur cette œuvre. Rien dans ce contrat ne diminue ou ne restreint le droit moral de l'auteur.*

Publié avec l'aide du Service publique de la Wallonie  
(Aides à la promotion de l'emploi)

## Table des matières

Introduction. Faire parler et voir la recherche africaine face aux défis de l'alimentation et de la nutrition. Fok Michel et al. ....	9
Comité scientifique de la conférence .....	12

### 1. Crises alimentaires et politiques agricoles

1.1. Nouvelles analyses des crises alimentaires en Afrique de l'Ouest. Janin Pierre .....	15
1.2. Crises alimentaires et nutritionnelles au Sahel et en Afrique de l'Ouest : Au-delà de la rhétorique 'Sécheresse – Famine'. Sibiri Jean Zoundi .....	31
1.3. Performances camerounaises en matière de sécurité alimentaire : le cas des céréales. Ngo Nonga Fidoline et al. ....	43
1.4. Pro-poor agricultural development? Linkages between cash crops and food crops – Evidence from Ivory Coast and Cameroon. Voss Anneke et al. ....	55
1.5. Quand la crise alimentaire de 2008 réhabilite l'action publique en agriculture : illustrations à partir de l'expérience du Bénin. Kpadé Cokou Patrice .....	69
1.6. Impact of rising world rice prices on poverty and inequality in Burkina Faso. Badolo Félix et al. ....	81
1.7. La transmission des prix mondiaux des céréales aux marchés camerounais. Ambagna Jean Joël et al. ....	105
1.8. Stratégie des «boutiques témoins» contre l'insécurité alimentaire au Bénin : efficacité et perspectives pour l'Afrique. Houngho N. Emile .....	113

### 2. Techniques et impacts de la production cotonnière

2.1. Production cotonnière et réduction de la pauvreté rurale au Burkina Faso : une histoire complexe. Bainville Sébastien .....	123
2.2. Quand le coton décline, quelles incidences sur le revenu et la production alimentaire des paysans au Burkina Faso? Vognan Gaspard et al. ....	139
2.3. Évaluation de l'arrière effet de la culture du coton sur la production céréalière en zone cotonnière du Mali. Sissoko Fagaye et al. ....	149
2.4. Foraging and pollination behaviour of <i>Apis mellifera adansonii</i> Latreille (Hymenoptera, Apidae) on <i>Gossypium hirsutum</i> L. (Malvaceae) flowers at Dang (Naoundere, Cameroon). Mazi Sanda et al. ....	161
2.5. Toxicité pour les abeilles <i>Apis mellifera adansonii</i> de quelques insecticides utilisés en culture cotonnière au Bénin. Zocancounon A.D. et al. ....	175
2.6. Valorisation de la fumure organique dans les systèmes de culture à base de cotonniers et sécurité alimentaire en Côte d'Ivoire. N'Goran Kouadio Emmanuel et al. ....	187
2.7. Effet du zaï amélioré sur la productivité du sorgho en zone sahélienne. Bayen Philippe et al. ....	197
2.8. Productivité du coton et du sorgho dans un système agroforestier à karité ( <i>Vitellaria paradoxa</i> Gaertn) au Nord Bénin. Gnanglè C.P. et al. ....	211
2.9. Novel approaches used to breed and evaluate cotton. Bourland Freddie M. ....	223
2.10. Improvement of agricultural production, fight against food insecurity and hunger through biological and sustainable agriculture: Strategies and applications within the cotton zone. A review. Ngakou Albert et al. ....	233

### 3. Innovations en agriculture

3.1. Jeter un pont entre les approches agro-écologiques et des technologies conventionnelles pour une agriculture africaine productive, compétitive et durable. Cas de l'Afrique sub-saharienne. Breman Henk .....	255
3.2. Comparaison des trajectoires d'innovation pour la sécurisation alimentaire des pays du Sud. Temple Ludovic et al. ....	271
3.3. Les déterminants de l'adoption d'innovations techniques sur maïs au Cameroun, une contribution à la sécurisation alimentaire. Mabah Tene Gwladys Laure et al. ....	283
3.4. 'Partir des solutions endogènes' : des expériences de recherche-action paysanne au Burkina Faso, Mali et Sénégal dignes d'intérêt pour la recherche et les politiques de sécurité alimentaire en Afrique. Mongbo Roch L. et al. ....	293
3.5. Diversification des cultures en zone cotonnière de l'ouest du Burkina Faso par des associations maïs-légumineuses en situation réelle de production. Coulibaly Kalifa et al. ...	303
3.6. Techniques de production agricole et productivité des femmes rurales : le cas du cacao de la région du centre du Cameroun. Abessolo Hélène Nathalie et al. ....	321
3.7. Incidence des stratégies de conservation de l'eau et des sols sur la sécurité alimentaire des ménages au nord-ouest du Bénin. Egah Janvier et al. ....	341
3.8. Quelles stratégies pour améliorer l'intégration agriculture-élevage dans des exploitations de savane ouest-africaine ? Approches par simulation avec les producteurs. Sempore Aristide et al. ....	349
3.9. Contributions des innovations paysannes aux résultats de la recherche scientifique : cas d'un remède traditionnel contre les ectoparasites de la volaille. Zongo Léon et al. ....	365
3.10. Ruche Iritié à élongation horizontale, une innovation pour l'optimisation apicole et culturale. Iritie Bruno Marcel et al. ....	371
3.11. Étude comparative de l'effet de l'extrait éthanolique des feuilles de <i>Tephrosia vogelii</i> et d'Alfapor® (Alpha-cyperméthrine) sur la tique <i>Amblyomma variegatum</i> chez le bovin Borgou. Dougnon Jacques T. et al. ....	379
3.12. Changes in amylase activity, hot-paste viscosity and carbohydrates during natural fermentation of sweet potato ( <i>Ipomoea batatas</i> ). Yadang Germaine et al. ....	387
3.13. L'émergence du maïs ( <i>Zea mays</i> ) en zone cotonnière du Tchad est aussi le fait de l'intégration élevage-agriculture. Djondang Koye .....	395
3.14. Analyse de la production du fonio, <i>Digitaria exilis</i> , dans le nord-ouest du Bénin. Paraïso Armand A. et al. ....	403
3.15. Contribution des femmes rurales à la sécurité alimentaire au Cameroun : Quels apports du conseil à l'exploitation familiale ? Ngouambe Nestor .....	415

### 4. Exploration et exploitation de la biodiversité

4.1. Faisabilité de la culture du soja ( <i>Glycine max</i> (L.) Merrill) en zone cotonnière au Nord Cameroun : criblage variétal et essai de fertilisation. Oumarou Yakouba et al. ....	429
4.2. Quelles contributions des légumes feuilles traditionnels à la sécurité alimentaire et à l'allègement de la pauvreté des populations urbaines en Côte d'Ivoire ? Fondio Lassina et al. ....	441
4.3. Espèces fruitières sauvages comestibles de Côte d'Ivoire : inventaire, étude et essai de domestication. Djaha Akadié Jean-Baptiste et al. ....	451
4.4. Amélioration de la productivité du maïs par l'utilisation des rhizobactéries PGPR. Noumavo Pacôme A. et al. ....	463

4.5. Efficacité insecticide de la poudre de graines et de feuilles de <i>Melia azedarach</i> sur <i>Callosobruchus maculatus</i> , ravageurs de niébé ( <i>Vigna unguiculata</i> ) en stockage. Kosma Philippe et al. ....	475
4.6. De la gratuité à la marchandisation des semences d'igname au Bénin : quelles implications sur la sécurité alimentaire ? Baco Mohamed Nasser et al. ....	485
4.7. Évaluation des effets du sida ( <i>Sida cordifolia</i> ) sur deux variétés de coton ( <i>Gossypium hirsutum</i> ) au Tchad en 2008-2009. Nekouam Ndomian .....	497
4.8. Comportement des génotypes d'anacardiens ( <i>Anacardium occidentale</i> L.) à l'anthracnose ( <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> ) au nord de la Côte d'Ivoire. Soro Sibirina et al. ....	501
4.9. Étude de la sensibilité des cultivars de bananier plantain à <i>Radopholus similis</i> (Cobb) Thorne (nématode) et essais de protection aux formulations de graines de neem ( <i>Azadiracta indica</i> A. Juss). Kosma Philippe et al. ....	511
4.10. Détermination du point de coupe optimal des fruits des hybrides de bananiers plantains PITA 3, PITA 8 et des variétés de bananiers plantains <i>Lorougnon</i> et <i>Corne 1</i> . Ocho-Anin Atchibri L. et al. ....	525
4.11. Accès aux marchés des produits agro-alimentaires traditionnels dans le département du Zou au Bénin. Gibigaye Moussa et al. ....	537
4.12. Évaluation du sorgho ( <i>Sorghum bicolor</i> ) pour la résistance au striga ( <i>Striga hermonthica</i> ) en milieu paysan au Tchad en 2008-2009. Nekouam Ndomian .....	553

## 5. Produits alimentaires et nutrition

5.1. L'innovation au service de filières agro-alimentaires durables et responsables. Rastoin Jean-Louis .....	563
5.2. Production de pain à base d'une farine composée de blé-taro au Cameroun : Étude technique. Panyoo Emmanuel A. et al. ....	567
5.3. Ingéniosité des organisations paysannes dans la transformation du manioc au Cameroun : cas du GIC Sécurité Alimentaire du Cameroun (SAC). Ngouambe Nestor .....	579
5.4. Couplage de technologies membranaires pour la production d'extraits stables de bissap ( <i>Hibiscus sabdariffa</i> L., Malvaceae). Adje Anoh Félix et al. ....	589
5.5. Application des technologies membranaires à l'extraction des polyphénols des rhizomes de gingembre ( <i>Zingiber officinale</i> Roscoe – Zingiberaceae). Ayamae Oulaï Casimir et al. ....	603
5.6. Potentiel protéolytique des extraits de trois plantes endémiques comestibles du Cameroun : <i>Abrus precatorius</i> L., <i>Burnatia enneandra</i> Micheli et <i>Ziziphus mauritiana</i> Lam. Mezajoug Kenfack Laurette Blandine et al. ....	613
5.7. Activités sur la composition alimentaire : une approche sous-estimée de valorisation de l'agro-biodiversité en faveur d'une nutrition saine en Afrique centrale. Kouebou C.P. et al. ....	625
5.8. Prévalence et antibiorésistance de bactéries entériques à potentialité pathogène dans l'alimentation de rue à Abidjan. Dadie Adjéhi Thomas et al. ....	639
5.9. <i>E. coli</i> O157:H7 et non-O157:H7 producteurs de shiga-toxines dans l'alimentation : situation africaine de 1990 à 2012 et implications. Dadie Adjéhi Thomas et al. ....	653
5.10. Utilisation des déjections animales en agriculture urbaine : quels impacts sur la qualité microbiologique des feuilles de <i>Solanum macrocarpon</i> L. (Solanaceae) cultivé à Cotonou ? Dougnon Victorien T. et al. ....	675

Liste complète des auteurs et leur affiliation .....	683
--	-----





## Introduction

### Faire parler et voir la recherche africaine face aux défis de l'alimentation et de la nutrition

Fok Michel, Ndoye Ousmane, Koné Siaka

Les économies des pays africains reposent fortement sur l'agriculture, l'élevage et la pêche. Dans les pays de l'Afrique de l'Ouest par exemple, ces activités contribuent pour plus de 35 % à la formation du Produit Régional Brut et à 15 % des recettes d'exportation. Elles fournissent aussi des revenus à plus de 60 % des actifs, et satisfont 80 % des besoins alimentaires des populations.

La crise alimentaire induite par la flambée des prix mondiaux des produits alimentaires en 2007-2008 rappelle que les performances de l'agriculture doivent être améliorées à courte échéance. La Recherche doit acquérir un rôle plus important dans la formulation de politiques agricoles adaptées et dans leur mise en œuvre. Cela est conforme au programme d'action du G20, à l'issue de la réunion de Séoul en 2010, mettant un accent particulier sur le renforcement de la contribution de la Recherche à l'amélioration de la productivité agricole. C'est aussi en droite ligne de la Déclaration de Maputo en 2003, réitérée par celle de Malabo en Juin 2014 qui préconise : « d'améliorer le statut nutritionnel, et en particulier, l'élimination de la malnutrition des enfants avec comme objectif de ramener le rabougrissement à 10 % et la perte de poids à 5 % à l'horizon 2025 ».

Au plan régional, en Afrique de l'Ouest, la Communauté Economique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) a adopté depuis 2005 sa politique agricole (ECOWAP) qui est le point nodal pour la mise en œuvre du volet agricole du NEPAD (PDDAA) dans la région.

La contribution de la Recherche est nécessaire pour exécuter les actions envisagées en matière de modernisation des exploitations familiales et d'intensification durable des systèmes de production, d'organisation des chaînes de valeur, et de promotion de la transformation/valorisation des produits en vue d'augmenter la productivité mais également d'améliorer l'accès à la nourriture et le statut nutritionnel des populations les plus vulnérables.

L'organisation d'une Conférence périodique de la Recherche africaine dans les domaines associés à l'agriculture vivrière constitue une approche efficace pour positionner la Recherche sur les filières agricoles – depuis la production jusqu'à la consommation dans les centres urbains –, sur les activités rurales, sur la sécurité alimentaire et sur le bilan nutritionnel.

C'est dans cette optique que le CORAF/WECARD s'est joint au CIRAD et à l'Institut National Polytechnique Houphouët Boigny de Yamoussoukro pour organiser une conférence envisagée dans le cadre du projet AFOMDnet financé par l'Union Européenne. Cette conférence, organisée du 4 au 6 Juin est appelée AGRAR-2013 pour être la première manifestation en 2013 d'un événement AGRAR (pour « AGRiculture, Alimentation et Recherche ») qu'il est souhaité de voir perdurer.

L'objectif principal de la conférence est d'appréhender la contribution des zones de production du coton, en Afrique de l'Ouest et du Centre, dans la satisfaction des besoins alimentaires des populations. L'initiative a entraîné l'adhésion d'autres institutions internationales et ivoiriennes en contribution financière et en la participation de leurs hauts responsables (Agreenium en France, la Chaire UNESCO « Alimentation du Monde », Cotton Incorporated des États-Unis, l'Autorité de Régulation du Coton et de l'Anacarde de la Côte d'Ivoire).

Pour une première conférence spécifiquement africaine, AGRAR-2013 a été suivie par plus de 350 participants pour écouter près de 80 communications réparties entre sessions plénières et sessions parallèles. En plus de la quinzaine d'étrangers invités pour délivrer des communications en plénière, une quarantaine de participants africains non-ivoiriens a pu prendre part, grâce au co-financement de la conférence par le CORAF/WECARD.

Les cinq sessions plénières ont couvert les domaines de politiques/modèles agricoles, orientation de la recherche et financement, innovations agricoles, transformation des produits agricoles et enfin alimentation/nutrition. Elles ont été constituées de 17 présentations par des intervenants venant de 16 institutions en provenance de six pays différents (France, Côte d'Ivoire, États-Unis, Sénégal, Pays-Bas, Canada). Les 12 sessions parallèles ont permis d'entendre des études et analyses de cas couvrant ces domaines.

Sans la prétention de résumer des présentations denses, il nous semble pertinent de souligner quelques points forts des présentations et des échanges :

- Le développement de la production cotonnière repose sur une recherche active qui ne peut l'être qu'à travers des mécanismes de financement bien ancrés et que certains pays ont su mettre en place.
- La sélection de variétés nouvelles adaptées aux conditions de cultures et aux demandes du marché reste une contribution forte attendue de la recherche; de nouvelles pistes et démarches sont disponibles même dans le domaine de la création variétale classique, sans recourir aux biotechnologies.
- Les impacts de la production cotonnière en Afrique ne sont pas uniformes et l'incidence pour réduire la pauvreté reste à être mieux appréhendée. D'un autre côté, le sort des paysans n'est pas amélioré par la sortie de la culture cotonnière en absence d'alternative de productions monétaires sécurisées. Il y a une forte synergie entre coton et productions vivrières, mais elle peut opérer dans un sens positif comme dans le sens négatif en fonction du contexte et des conditions de production cotonnière.
- Les impacts d'une production particulière, ou de la production agricole en général, dépendent bien entendu des politiques nationales mises en œuvre, bien plus que le phénomène de la sécheresse. Les débats en faveur de politiques nationales plus efficaces méritent certainement plus d'attention et de temps dans les conférences à venir.
- Les cas d'analyse restent encore en faible nombre pour les innovations réelles améliorant la production, l'alimentation ou la nutrition. Les cas d'amélioration de la technologie de la conservation des produits à faible coût et facilement appropriables sont à saluer. Les travaux pour mieux exploiter les pluies par une meilleure rétention de l'eau nous paraissent vitaux. À l'heure où l'importance de mieux tirer parti des processus écologiques est reconnue, à travers les notions d'agroécologie ou d'intensification écologique, l'attention portée aux systèmes agro-forestiers est pertinente.
- Il est possible d'améliorer les systèmes céréaliers par exploitation des services écologiques des légumineuses, mais cette voie reste insuffisamment empruntée en Afrique.
- L'attention aux processus écologiques ou aux systèmes agro-forestiers ne doit cependant pas s'opposer au recours des intrants exogènes, chimiques, dont l'usage raisonné peut en garantir l'efficacité.
- L'Afrique, comme ailleurs, regorge d'une biodiversité exploitable et qui l'est encore insuffisamment. Les cas présentés sont porteurs de promesses mais les travaux engagés doivent être soutenus et intensifiés.
- Alors que la forte mortalité des abeilles devient une préoccupation majeure dans nombre de pays et que l'Afrique semble être encore épargnée, il est réconfortant de voir des chercheurs africains se dédier à améliorer leur rôle dans le système de production agricole.

- Le rôle des femmes dans la production, l'alimentation et la nutrition reste encore peu pris en charge par la recherche; cela reste surtout l'apanage des acteurs du développement qui pourtant ont besoin d'être guidés par des connaissances plus approfondies des chercheurs.

La tenue de la conférence à Yamoussoukro nous a permis de voir des chercheurs africains heureux de se rencontrer, d'échanger leurs idées, et se promettre de se retrouver. Elle a donné aux étudiants en agronomie de l'INP-HB de prendre part à un événement international, de prendre conscience des apports et des attentes de l'agriculture en Afrique.

Il est vivement souhaitable que la Conférence AGRAR se répète dans le temps et dans d'autres localités en Afrique. C'est ainsi qu'on évitera que la question fondamentale de l'agriculture, de l'alimentation et de la nutrition en Afrique ne soit seulement abordée quand une crise éclate et accapare l'actualité, pour être oubliée de nouveau une fois qu'un autre sujet d'actualité prend la relève.

C'est aux Africains de veiller à ce que la Conférence AGRAR, un événement de naissance africaine et d'essence africaine, perdure.



## **Comité scientifique de la conférence**

Michel Fok, AFOMDnet et CIRAD, France

Siaka Koné, INP-HB, Côte d'Ivoire

Ousmane Ndoye, CORAF/WECARD, Sénégal

Ludovic Temple, CIRAD, France

Nicolas Bricas, CIRAD, France

Stéphane Guilbert, AGREENIUM, France

Jean-Louis Rastoin, «Alimentations du Monde», France

Jean-Jacques Drevon, Montpellier Supagro, France

Etienne Dako, Univ. Moncton, Canada

## **Crises alimentaires et politiques agricoles**



Janin Pierre, IEDES (Université de Paris 1)/IRD,  
Nogent sur Marne, France, E-mail : pierre.janin@ird.fr

Cet article est paru dans la revue *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **19**(3), 290-300.  
<http://hdl.handle.net/11006/200>

## Résumé

La question des crises est un élément central de débat et un enjeu stratégique pour l'ensemble des protagonistes en Afrique de l'Ouest. Les crises alimentaires et nutritionnelles y possèdent une récurrence, une intensité et une variabilité fortes qui constituent des défis renouvelés. Leur définition, leur délimitation et leur gestion constituent aussi un champ professionnel structuré et ancien d'intervention. Différentes approches peuvent être mobilisées afin de rendre compte de la diversité et de la complexité des crises alimentaires et nutritionnelles. Certaines, davantage descriptives, énumèrent leurs causes et leurs manifestations tandis que d'autres insistent sur leur caractère construit, leurs dynamiques propres liées aux interactions entre phénomènes. Les différents acteurs institutionnels impliqués, nationaux comme internationaux, ont, jusqu'à présent, surtout favorisé l'amélioration progressive de systèmes experts apportant des réponses techniques de court terme. En parallèle, cette évolution a conduit à une harmonisation des cadres de pensée préjudiciable à la prise en compte de la diversité des questionnements et l'intégration des acteurs non-institutionnels. Ce sont ces frontières et ces limites que cet article entend questionner afin de rappeler la dimension politique de la gestion des crises alimentaires (et de leur éventuelle résolution).

## New analysis of food crisis in West Africa

The issue of crisis is a central element of debate and a strategic challenge for all stakeholders in West Africa. Food and nutrition crises have there a recurrence, intensity and high variability constituting renewed challenges. Their definition, delimitation and management also provide an old and structured intervention professional field. Different conceptual and contextual approaches can be mobilized to account for the diversity and complexity of food and nutrition crises. Some, more descriptive, list their causes and manifestations, while others insist on their built character, their own dynamic linked to phenomena interactions. All different institutional actors involved, both at national and international levels, have so far mostly favored the gradual improvement of expert systems providing technical short-term responses. In parallel, this has led to a harmonization of these frameworks of thoughts, thus detrimental to the consideration of the diversity of questions and the integration of non-institutional actors. Such are the boundaries and limits that this article aims to question to remind the political dimension of the management of food crises (and their eventual resolution).

## 1. Introduction

Les crises alimentaires constituent un extraordinaire champ d'observation : en termes de réponses à l'adversité comme de représentations du risque. Loin d'être un simple phénomène appelant un traitement humanitaire d'urgence en Afrique subsaharienne, elles constituent un enjeu central de développement au carrefour de la satisfaction des besoins, de la gestion durable des ressources comme de leur redistribution afin de tenir compte des mobilisations sociales croissantes.



Si de nombreux travaux ont été conduits, depuis un siècle, à leur sujet, la décennie écoulée s'en distingue par une augmentation substantielle, compte tenu de leur répétition et de leur persistance, au Niger (Olivier de Sardan, 2008a), au Mali (Arditi et al., 2011), au Malawi (Dorward et al., 2004), en Éthiopie et en Somalie (Maxwell et al., 2012). Sans doute est-ce aussi le résultat d'une médiatisation accrue et d'une politisation croissante ?

Si les crises alimentaires n'ont pas fondamentalement changé de nature, les manières de les aborder ont davantage évolué : leur caractère à la fois hérité et construit, intriqué et dynamique est davantage mis en avant (Janin, 2010a). La crise alimentaire de 2007-2008 a indéniablement accéléré ce changement de paradigme. Elle a contribué à renouveler les figures du risque (géopolitique et non plus seulement bio-climatique et socio-économique – Janin, 2011a), à balayer certains prismes (revendications plus urbaines et ciblage moins rural). À la faveur de cette crise, les réflexions sur les divergences entre régulations marchandes et politiques, sur les antagonismes entre acteurs aux intérêts, aux logiques et aux pratiques propres se sont multipliées (McMichael, 2009 ; Holt Gimenez, Shattuck, 2011) tandis que l'on s'interrogeait sur les meilleures stratégies visant à limiter cette instabilité (Galtier, 2012). Confortée par les annonces alarmistes – en termes de demande croissante, compte tenu du fort croît démographique comme de variabilité de l'offre, du fait de contraintes climatiques renforcées – la question agricole a été remise au cœur des agendas à l'issue de cette crise, même si, là aussi, les scénarios restent multiples (productionnisme *versus* agrobiodiversité, spécialisation *versus* diversification, ...).

Quant à la portée instrumentale des dispositifs de gestion des crises, elle n'est plus à démontrer. Force est de reconnaître leur perfectionnement croissant, en termes de diagnostic et de suivi des situations à risque, fût-ce au prix d'une technicisation coûteuse. Les efforts réalisés, depuis le début de la décennie 2000, pour les harmoniser – via la mise en place d'échelles de mesure d'intensité des crises et de *clusters* – semblent aller dans le sens d'une meilleure opérationnalité. Toutefois, leur élargissement progressif à de nouveaux «acteurs sociaux intermédiaires» complique grandement la coordination. Quels que soient les cas étudiés, le décalage entre volonté technocratique affichée, en termes de partage des connaissances ou de concertation, et réalité des décisions reste un sujet constant de préoccupation. Au-delà de son traitement technique, force est de reconnaître que toute crise est prisonnière de jeux d'acteurs, aux intérêts, aux logiques, souvent concurrentiels (Sahley et al., 2005 ; Janin, 2010b).

Ce texte entend d'abord rappeler les atouts et les limites des différentes approches d'analyse dans le domaine des crises alimentaires à l'échelle régionale et nationale. Puis, il s'efforce de montrer que le caractère fécond des améliorations apportées aux dispositifs de leur gestion se heurte invariablement à la nature des rapports entre acteurs opérant au sein du système alimentaire. De ce fait, une plus large place devrait être faite à des analyses plus enracinées, mêlant économie morale de la redistribution et économie politique de la gestion du risque (Watts, 1983 ; Macrae, Zwi, 1994 ; Bush, 1996) pour rendre compte des inégalités de ressource et de pouvoir.

## 2. Des crises alimentaires complexes et durables plus difficiles à appréhender

La notion de « crise » fait l'objet d'un engouement particulier depuis les épisodes majeurs sahéliens des années 1970 et 1980. Ce phénomène est, certes, lié à l'amélioration continue des moyens d'information et de diffusion mais, plus encore, à la sensibilisation accrue des acteurs impliqués avec des effets ambivalents. Ainsi, l'inflation dans l'usage du terme « crise » contribue à banaliser ce phénomène au risque de renforcer à la fois l'indifférence des donateurs. De ce fait, la notion de crise s'est affadie pour devenir synonyme de toute « phase de changement

brutal ou accéléré ayant des effets déstabilisants» alors même qu'elle est, par essence, hors-norme (Lagadec, 2010). Presque toujours considérée comme un moment critique, au contenu paroxystique, toute crise est ambivalente (Parrochia, 2009) puisqu'elle génère, dans le même temps, des opportunités : aux commerçants-importateurs de denrées de base, aux agriculteurs ayant des surplus céréaliers à vendre, aux promoteurs d'innovations thérapeutiques, aux gouvernants décidés à « ne pas perdre la main » (Janin, 2008). Elle constitue donc un moment clé pour évaluer, sans complaisance, la fonctionnalité des dispositifs de gestion des crises, le niveau d'acceptabilité sociétale du risque comme les contributions politiques de chaque type d'acteur (pour ne pas dire « responsabilité »). Au-delà, toute crise repose aussi la question essentielle des choix stratégiques en matière de politiques de développement (Zoundi, 2012).

La dimension historique des crises alimentaires dans les régions sahélo-soudaniennes d'Afrique est bien établie et reconnue (Gado, 1993 ; Chastanet, 2008), même si leurs causes, leurs manifestations et leur intensité peuvent différer fortement (Mourey, 2004). Peu de points communs, par exemple, entre :

- certaines crises, dites « traditionnelles », présentées comme des « crises de disponibilités » (soudure alimentaire aggravée, disette rurale), souvent localisées et prévisibles, présentant un caractère relativement saisonnier ou cyclique, ayant façonné des modes de vie et organisé les mentalités collectives à l'aune d'une éthique de subsistance et d'une économie morale de la redistribution (Fassin, 2009) ;
- et des crises alimentaires moins endogènes, liées à des chocs conjoncturels plutôt importés (hausse subite de prix ou accident climatique), marquées par des pertes d'accessibilité aux denrées de base, pouvant donner lieu à des mobilisations sociales parfois violentes, du fait d'un affaiblissement des filets de sécurité traditionnels et du caractère de moins en moins acceptable, pour les jeunes, des inégalités.

Que penser également des « crises tendancielles », liées à une aggravation de la précarité et de la vulnérabilité des moyens d'existence, plus difficiles à percevoir et à analyser à moins d'enquêtes locales suivies (de type *Household Economy Approach*) ? Quant à la lecture nutritionnelle des crises, mise en exergue par l'épisode nigérien de 2005, elle privilégie une échelle individuelle de mesure dictée par l'urgence, parfois en décalage avec des informations agricoles, alors même que la malnutrition est l'expression ultime des dérèglements globaux, tant productif, marchand, sociétal, éducatif, sanitaire que politique (Elmekki, 1999)<sup>1</sup> qui peuvent se recombinaisonner mais dont les conséquences restent encore difficiles à appréhender et à mesurer.

À ce redimensionnement des crises correspond aussi le renouvellement progressif des schémas causaux ou explicatifs. On est passé de considérations fonctionnalistes opérant une distinction hâtive entre l'origine « naturelle » (criquets, sécheresse, ...) et « humaine » (guerre, épidémie) des crises alimentaires (Brun, 1975 ; FAO, 2004) à des explications insistant sur leur caractère pluridimensionnel (et multifactoriel climatique, agricole, économique, sociétal, politique), nécessitant, sans y parvenir encore, la mise en place de politiques intersectorielles (Alpha et al., 2013). Tous ces efforts classificatoires facilitent, sans aucun doute, la caractérisation des crises mais peinent à restituer leurs dynamiques internes en lien avec un ensemble de phénomènes endogènes comme exogènes (Burg, 2008 ; Maxwell, Fitzpatrick, 2012)<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Complexification croissante dont la définition réactualisée de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle, enrichie par la notion d'environnement sanitaire et sociétal rend bien compte.

<sup>2</sup> On peut, ainsi, mettre en avant la marchandisation croissante des ressources, la libéralisation des échanges, la dégradation des conditions de production, l'accroissement des inégalités, le maintien de vulnérabilités structurelles, l'affaiblissement des filets communautaires et les processus d'individuation.

Au-delà de ces distinctions, force est toutefois de reconnaître que les sociétés et les territoires sahélo-soudaniens sont globalement touchés par des « situations de (pré-)crise », caractérisées par certains « chocs », présentant une certaine fréquence et une certaine régularité (Tableau 1). Ainsi, les années déficitaires en milieu rural, marquées par des pénuries céréalières – de durée, d'intensité et d'étendue certes variables –, l'emportent généralement sur celles considérées comme « satisfaisantes ou excédentaires », même si les données statistiques restent souvent sujettes à caution. Parallèlement, en milieu urbain, une insécurité alimentaire chronique perdure, directement liée au caractère instable et aléatoire des revenus monétaires et à une précarité endémique. Les catégories urbaines perdent peu à peu des liens de complémentarités avec des segments de famille élargie en milieu rural, du fait de réciprocity contractuelles plus exigeantes et plus aléatoires ; elles restent donc très vulnérables à tout renchérissement brutal et important des prix alimentaires de détail.

**Tableau 1.** Chronologie des chocs naturels au Mali depuis 1960.

Type	Années
Sécheresse	1966, 1969, 1973-1974*, 1980, 1983-1985*, 1991, 2004, 2005*, 2006, 2009, 2010*, 2012
Inondation	1988, 1989, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2007, 2009*
Criquets	1991, 2004, 2005, 2012

(D'après Simonsson, 2005 ; ACAPS, 2012). Les événements majeurs sont marqués d'une \*.

Les échelles de temps et d'espace constituent des marqueurs stratégiques, même si leur multiplicité est souvent difficile à intégrer dans les diagnostics et les actions. Certaines zones peuvent être plus touchées alors que d'autres sont plutôt épargnées. Et certaines périodes sont plus critiques que d'autres (Howe, 2010). L'idée de répétition ou de persistance des crises fait parallèlement son chemin (Oxfam, 2010 ; Michiels et al., 2012), confortée par la pérennisation de certaines situations régionales (zone Niger-Tchad-Soudan, Corne de l'Afrique, cuvette congolaise), tandis que d'autres parlent de crises « prolongées » (FAO, 2010), « durables » (Pingali et al., 2005) ou « persistantes » (Øygard, 2005). Ces qualificatifs signent, certes, la fin heureuse d'un clivage artificiel (conjoncturel/structurel) mais illustrent aussi les difficultés pour les comprendre et pour les résoudre.

Une crise est bien le produit d'une histoire économique, sociétale et politique, faite d'incertitudes, de ruptures et de bifurcations liées à des décisions, des blocages ou des « non-actions » (Braidotti, 2007). Dans cette perspective, on peut aller jusqu'à considérer une crise comme un « événement » sans début précis, ni fin véritable, inscrite dans les trajectoires temporelles des systèmes en place.

Au cœur des crises de plus en plus complexes, se confrontent plusieurs registres narratifs, qu'il convient de garder en mémoire : certains plutôt basés sur les connaissances, les représentations de ceux qui y font face ; d'autres découlent des classifications et catégorisations, parfois réifiantes, propres à ceux qui les gèrent et les analysent. On peut ainsi distinguer des registres :

- « technocratique », comme énoncé expert scientifique faisant la part belle aux données chiffrées objectivées afin de hiérarchiser les priorités d'action (indicateurs quantitatifs, scores et ratios) ;
- « expressif », basé sur la médiatisation des figures de victimes et de leur ressenti afin de générer de la compassion émotionnelle (Dauvin, 2006) ;
- « politisé », par la place accordée à l'instrumentalisation des actions réelles ou supposées : soit pour les dénoncer, soit pour les justifier, afin d'asseoir certaines formes de légitimité (Janin, 2008) ou pour créer des « niches » de captation de financements ;
- enfin, « holiste » soucieux d'appréhender les processus dans leur complexité paradigmatique (interactions, ambivalence, ...) pour améliorer le pilotage coordonné des différents sous-systèmes en matière de lutte.

Nous faisons donc nôtre l'idée qu'une crise alimentaire est à considérer comme l'expression des hésitations et des dysfonctionnements des régulations sociétales, marchandes et politiques, à des échelles moyennes de temps et d'espace, compte tenu des positions concurrentielles de groupes d'acteurs hétérogènes, aux capacités d'action inégales et aux intérêts différenciés, donnant lieu à différentes expressions du « manque » (objectif comme ressenti).

### 3. Des grilles dominantes d'analyse privilégiant les approches techniques

Comment aborder des « crises alimentaires » aux origines, aux manifestations, aux dimensions différentes ? Y a-t-il des « crises traditionnelles » et des « crises nouvelles » (Vanhaute, 2011) ? Les crises agricoles sont-elles toujours liées à des pénuries céréalières ? Les crises alimentaires ont-elles, toutes, une dimension nutritionnelle explicite ? Autant d'interrogations que nous n'aborderons qu'à la marge, cherchant surtout à mettre l'accent sur les grilles d'analyse mobilisées.

Dans ce domaine, de nombreuses approches existent avec leurs atouts, leurs exigences et leurs limites. Si l'on excepte les théories des famines qui les incarnent peu, la plupart sont à la fois « sectorielles » et « contextuelles ». Les premières juxtaposent – davantage qu'elles n'associent – les différents champs d'une crise : agricole, alimentaire, nutritionnel, sanitaire, démographique. Elles apportent peu de renseignements sur ce qu'il conviendrait de prioriser, ni sur les effets des actions menées en termes de transfert de risque d'un champ à l'autre. Quant aux secondes, elles se focalisent davantage sur quelques marqueurs (lieux, temporalités, échelles, acteurs) permettant de raconter la crise comme une histoire. Passant au crible une abondante littérature, deux approches occupent majoritairement le champ humanitaire actuellement.

L'analyse « fonctionnaliste » reste généralement très descriptive (Figure 1). La crise est, ici, considérée comme « l'avènement d'un événement situé » (Durand-Dastès, 2001), doté d'une certaine linéarité, avec un avant, un pendant et un après. Le point d'entrée reste très dépendant de l'identification des causes et de leurs effets (Roshni, 2007), très souvent énumérés, sans nécessairement bien les relier. Parce qu'elle questionne peu le lien établi entre un choc et son impact (Pündrich et al., 2009), cette approche favorise les réponses ponctuelles et curatives visant à limiter l'intensité des dérèglements. Elle insiste aussi beaucoup sur la chronologie, les étapes, sans trop s'intéresser aux jeux d'échelles ni aux interactions, même si elle prend en compte la diversité des acteurs en présence à l'échelle régionale ou nationale. Cette grille,

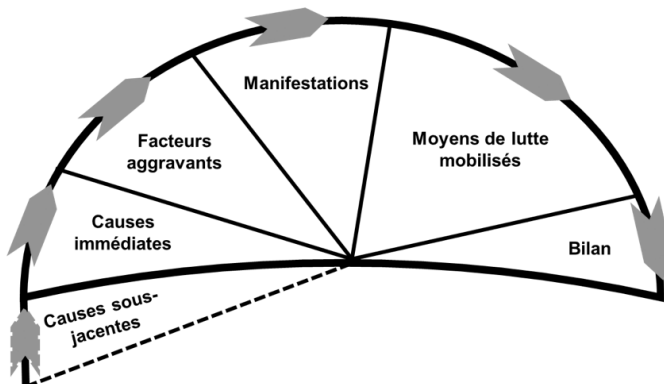


Figure 1. Approche « fonctionnaliste ».

qui dépolitise la crise sous le vocable « catastrophe » (FAO, 2011), a souvent la faveur des intervenants humanitaires et des opérateurs de développement (*Disaster Risk Reduction Tools and Methods* à l'UNRISD par exemple).

L'analyse « dysfonctionnelle » (Figure 2), pour sa part, s'appuie fortement sur les acquis des travaux antérieurs de Sen (Drèze, Sen, 1990). Elle considère une crise alimentaire comme le résultat de processus convergents : l'accumulation de dysfonctionnements systémiques (dans les fonctions d'approvisionnement et de redistribution par exemple) qu'aucun acteur public ou privé ne parvient à limiter est doublée d'une dégradation marquée de la capacité d'accès aux aliments des communautés et des individus (Watts, 1991 ; Fine, 1997 ; Hugon, 2000 ; Rubin, 2008 ; 2009). D'une manière générale, ce cadre d'analyse n'a pas réellement connu le succès escompté au cours des deux dernières décennies, parce qu'il engage directement la responsabilité sociale et politique des gouvernants. En revanche, de nombreuses ONG s'en inspirent pour assurer le suivi de leurs groupes bénéficiaires, via la caractérisation des moyens d'existence des ménages, à partir d'enquêtes locales rapides (de type HEA), insistant tour à tour sur les vulnérabilités (ligne de survie), et plus récemment sur les capacités (ligne de résilience) mais sans réellement intégrer les rapports de force internes comme externes.

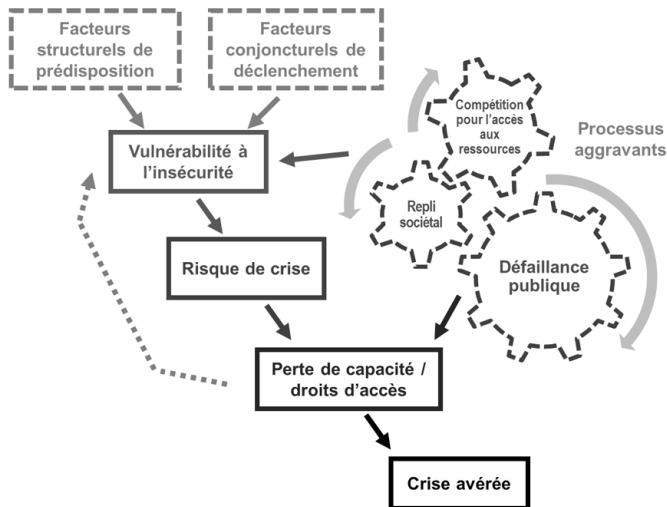


Figure 2. Approche « dysfonctionnelle » (d'après Drèze, Sen, 1990).

#### 4. Pour un nouveau cadre réflexif « sensible au politique »

Les recherches conduites au Sénégal, au Mali et au Burkina Faso, à partir de la crise alimentaire sous-régionale de 2005 et de la crise alimentaire de 2008, ont montré combien le champ humanitaire était traversé par des rapports de force entre acteurs préjudiciables au traitement des situations d'urgence. Ces constats plaident pour un traitement moins technique de l'urgence, selon une démarche « actionnaliste » (Figure 3).

Celle-ci requiert à la fois une fine connaissance des enjeux, des rapports de force dans chaque système socio-spatial (Swinnen, 2011). Cette prise en compte de la complexité s'effectue à trois niveaux : par la mise à plat actualisée des dispositifs définissant un cadre pour l'action, par la prise en compte des logiques, des représentations et des intérêts des acteurs par l'analyse de leurs pratiques réelles (Janin, 2011b ; Brockhaus et al., 2012). Cette grille, qui fait la part belle au politique, est essentiellement l'apanage d'observateurs (chercheurs,

journalistes) ou d'acteurs militants. Elle a notre préférence et constitue une base utile pour proposer un nouveau cadre générique (Figure 4) pour aborder les crises alimentaires alors même que l'idée d'« agriculture sensible à la nutrition » fait, depuis peu, son chemin.

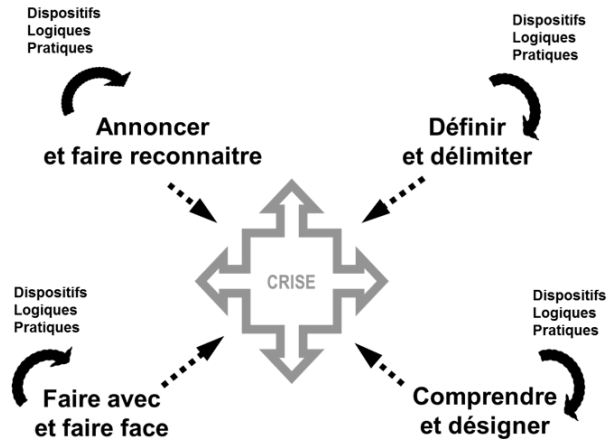


Figure 3. Approche « actionnaliste ».

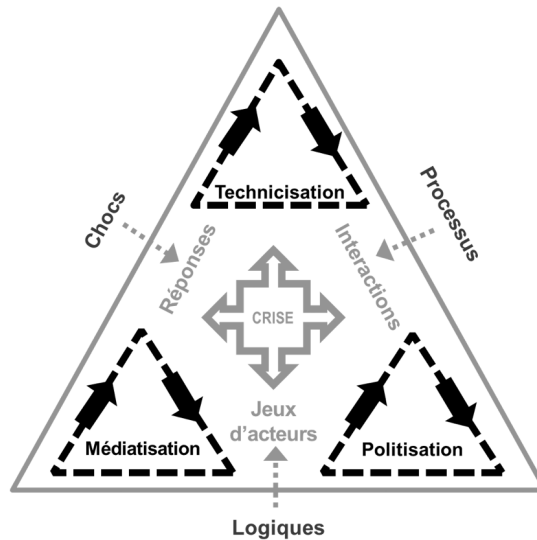


Figure 4. La crise comme construction dynamique.

Ce cadre s'appuie d'abord sur les éléments constitutifs de la crise comme réalité effective, avec des « marqueurs du risque et du changement », réel ou estimé<sup>3</sup> (« Chocs », « Processus » et « Logiques »). Il considère ensuite sa dynamique évolutive, fonction des interactions entre phénomènes, des prises de décision et de leurs scansions temporelles (avec des accélérations, des ralentissements et des stases) (« Réponses », « Interactions » et « Jeux d'acteurs »).

<sup>3</sup> Indicateurs chiffrés ponctuels ou répétés, événements consacrant des ruptures brutales, éléments exprimant des dégradations tendanciellées ou des prédispositions latentes, plus lentes à s'exprimer, à des interfaces critiques.



Mais ce qui va donner à chaque crise une spécificité et une intensité particulière ce sont trois processus parallèles qui doivent, à notre avis, faire l'objet d'une considération particulière. La filiation avec les «registres d'expression» précités (1<sup>er</sup> Partie) est évidente mais il s'agit ici davantage de les aborder sous un angle politique :

- la «technicisation» se déploie à la fois comme discours et comme pratique hégémonique pour organiser les réponses en fonction de procédures instrumentales codifiées et d'objectifs technocratiques assignés ;
- la «politisation» découle fortement du premier puisqu'il conduit soit à infléchir les actions proposées en fonction d'intérêts propres (catégoriels ou particuliers) ne bénéficiant généralement pas à tous, soit à les instrumentaliser carrément afin de construire, de fortifier des légitimités ou d'accéder à de nouvelles ressources matérielles ou symboliques ;
- enfin, la «médiatisation» connaît une rapide expansion avec des effets ambivalents, parvenant parfois à renforcer les mobilisations par des transferts efficaces d'informations, mais conduisant aussi à faire accroire des rumeurs, à diffuser des approximations ou à renforcer les idées reçues.

## 5. Des dispositifs de gestion améliorés toujours dépendants de compromis politiques

En l'espace de deux décennies, les outils, les protocoles et les dispositifs régissant la gestion des crises alimentaires et nutritionnelles ont sensiblement évolué. Leur récurrence comme leur improbable résolution et anticipation expliquent, pour une large part, ce phénomène itératif. Quant aux exemples de réorganisation efficiente (Mali, Niger), ils sont souvent postérieurs à des épisodes désastreux tout en restant fortement contingents, à moins d'un réexamen continu. D'une manière générale, les évolutions sont davantage marquées par les continuités que par les ruptures.

En matière de diagnostic et de suivi, par exemple, depuis 2008, les dispositifs nationaux et sous-régionaux (CILSS) ont progressé, intégrant certains indicateurs nutritionnels saisonniers. la lutte contre la malnutrition a fait son apparition dans les actions portées par l'Office humanitaire de la Communauté européenne (ECHO) et dans les programmes des ONG. Cette évolution traduit une volonté de mieux prendre en compte le caractère multidimensionnel des crises et l'imparfaite concordance entre crises de l'offre, crises d'accès et crises de régulation, dont les urgences nutritionnelles en constitueraient l'expression ultime et la moins sujette à caution (Michiels, Egg, 2007). Elle peut également être analysée comme l'expression de luttes institutionnelles (voire disciplinaires) entre tenants de l'amélioration du fonctionnement des marchés et de l'offre productive et promoteurs de la médicalisation du traitement de la faim (via les *Ready to use therapeutic foods* par exemple).

En dépit de ces avancées notables, force est de reconnaître que le phénomène de décalage entre *monitoring* des situations à risque, transfert d'information et prise effective de décision est loin d'être résorbé. À chaque étape, du diagnostic préalable jusqu'au ciblage terminal, nombreux sont les écarts relevés, par les observateurs de terrain, entre les données agrégées et les situations réelles (Janin, 2011b). On note aussi que les indicateurs chiffrés, alors même qu'ils s'appuient sur des mesures objectivées, fournissent souvent des informations contradictoires sur la gravité de la crise, *a fortiori* lorsque l'on passe à l'échelle micro, même si l'exigence de consensus est martelée par les opérateurs (Oxfam, 2013). Ces approximations et ces généralisations, tantôt indicibles, tantôt patentes, peuvent découler d'un manque de moyens techniques. Ainsi, la couverture géographique des systèmes experts nationaux est encore lacunaire et parcellaire, même si elle a été élargie. En effet, avant la crise alimentaire de 2007-2008, le milieu urbain comme les zones rurales soudaniennes, dotées de bonnes potentialités agricoles et considérées

comme peu sujettes aux crises, en étaient généralement exclues. Plus fondamentalement, certaines analyses mettent en avant le caractère fortement politisé de ces dispositifs : hésitations, marchandages et compromis entre gouvernants et bailleurs de fonds viennent parasiter la qualité de l'information transmise et, donc, parfois influencer les choix d'intervention (Enten, 2013).

Autre domaine dans lequel la production technocratique est forte depuis le début des années 2000 : les cadres stratégiques à visée opérationnelle<sup>4</sup>. Annoncés à grand renfort médiatique, mis en avant par leurs promoteurs, ils peinent souvent à se traduire dans les faits par des actions concrètes. À tel point que leur harmonisation progressive est désormais considérée comme une priorité. Ceci a, par exemple, conduit, depuis 2006, à la production d'échelles de classement des risques de crise (FAO, 2012), après une application pionnière en Somalie (<http://www.fsnau.org/ipc/ipc-map>). Elle remplace peu à peu les échelles hiérarchiques de l'*Institute of Development Studies* (Burg, 2008), du *Early Warning Working Group* (Howe, Devereux, 2004). Seul le CILSS-AGHRYMET semble encore résister à la déferlante par une approche plus agro-environnementale (Pini, 2006). En termes de cadres d'analyse des crises et d'organisation des interventions, la tendance est également à la normalisation redondante, même si la distinction entre «développement» et «crise» se maintient (White, Cliffe, 2000 ; Pingali et al., 2005). La FAO met en avant sa «*Twin Track Approach*» quand le PAM différencie également programmes d'urgence et programmes de sécurisation des moyens d'existence (Darcy, Hofmann, 2003). Dans le même temps, de nombreux travaux montrent les limites d'un tel raisonnement. Et l'idée d'une crise à reconnaître comme un continuum temporel, inscrite dans des temporalités plus longues, tend à s'imposer (Tableau 2) : de fait, action comme inaction constituent, de manière inextricable, le terreau des crises à venir. Cette évolution paraît très positive et devrait sensiblement modifier le traitement des crises (Hobbs et al., 2012) notamment en rapprochant cycles de collecte de l'information, d'analyse, de planification et de mise en œuvre des actions (Barret et al., 2009). La tendance générale est à la diminution des actions curatives de court terme, souvent coûteuses, tardives et à l'impact limité au profit d'actions mettant la prévention et le renforcement des capacités des acteurs nationaux et locaux au premier plan (Club du Sahel, 2008). Par ailleurs, comme le souhaite l'Union européenne, de nombreuses actions d'urgence sont menées conjointement avec d'autres intervenants. On relève d'ailleurs, dans certains pays, la mise en place de *clusters* opérationnels, même si leur gouvernance pose de nombreuses questions et cristallise certaines concurrences (Maxwell, Parker, 2012).

Ce qui frappe le lecteur reste, toutefois, le caractère redondant des réponses (Tableau 2) au-delà des mots (le terme de «résilience» remplaçant de plus en plus celui de «vulnérabilité à l'insécurité»). Ainsi le stockage, longtemps décrié, apanage des familles et des communautés villageoises (Cortes, Gomez, 2012), redécouvert par les ONG via la promotion de banques de céréales dans les années 1990, serait désormais un must institutionnel (UEMOA, 2011). Mieux, ce coûteux stockage multi-échelle devrait assurer une véritable action régulatrice, ce que ni les «classiques» stocks de sécurité (SNS), ni les «petits» stocks d'intervention (SI), utilisés à des fins plus politiques, n'ont jamais été en mesure de réaliser. Loin d'être un banal instrument technique (Araujo-Bonjean et al., 2010 ; Maître d'Hôtel et al., 2012), le stockage redeviendrait un outil de gouvernement des populations, à l'instar des souverains précoloniaux gardant «la main sur le grenier».

<sup>4</sup> La Charte pour la prévention et la gestion des crises alimentaires au Sahel et en Afrique de l'Ouest en est un bon exemple (CSAO-OCDE-CILSS, 2012).

**Tableau 2.** Typologie des réponses aux crises alimentaires.

Temporalités	Court terme	Moyen terme	Long terme
<b>Action</b>	Curative, ponctuelle	Réactive, protectrice	Proactive, anticipatrice
<b>Objectif</b>	Aide	Réduction des risques de catastrophe	Renforcement des capacités et de la résilience
<b>Qualification</b>	<i>Dependence</i> (1)	<i>Independence</i> (1)	<i>Interdependence</i> (1)
	<i>Livelihood provision</i> (2)	<i>Livelihood protection</i> (2)	<i>Livelihood promotion</i> (2)
	<i>Relief</i> (3)	<i>Rehabilitation</i> (3)	<i>Development</i> (3)
	<i>Reconciliation</i> (4)	<i>Rehabilitation</i> (4)	Reconstruction (4)
	<i>Livelihood protection</i> (5)	<i>Livelihood improving</i> (5)	<i>Transforming livelihood</i> (5)
	Urgence humanitaire (6)	Réhabilitation (6)	Développement durable (6)
	<i>Emergency relief</i> (7)	<i>Rehabilitation work</i> (7)	<i>Development assistance</i> (7)
	<i>Provisioning</i> (8)	<i>Protection</i> (8)	Promotion (8)
<b>Champ agro-alimentaire</b>	Distributions gratuites Ventes subventionnées <i>Food for work</i> <i>Cash for work</i>	Diversification culturale Renforcement du stockage	Formation agricole Gestion des terroirs Sécurisation foncière
<b>Champ socio-économique</b>	Coupons alimentaires <i>Social cash transfer</i>	Crédit Contrôle des prix Diversification d'activités	Régulation des marchés Développement de chaînes de valeur
<b>Champ bio-médical</b>	Appui médical Récupération nutritionnelle	Programmes de suivi et d'appui nutritionnel	Éducation nutritionnelle Santé primaire

D'après (1) Matus, 2007 ; (2) Maxwell, 1999 ; (3) UE-CEDEAO, 2008 ; (4) Green, 2000 ; (5) Devereux, 2004 ; (6) Grünewald, Tessier, 2001 ; (7) OECD, 1997 ; (8) Renzaho, Mellor, 2010.

En matière de «coordination» des actions, on est passé de dispositifs centralisés, portés par des institutions étatiques nationales ou sous-régionales (CILSS), opérant plutôt dans le domaine agricole, à des dispositifs plus ouverts et plus inclusifs, partiellement décentralisés, plus ou moins co-gérés, mettant aux prises un panel élargi d'acteurs. Cette évolution offre des perspectives prometteuses, à terme, mais leurs concertations sont plus longues et plus hasardeuses. Le personnel administratif doit ainsi composer avec des «acteurs sociaux intermédiaires» aux intérêts et aux registres d'expression moins «normés», même s'ils font l'objet d'une sélection préalable. Selon les pays et les périodes, des associations, des syndicats, des fédérations paysannes, mais surtout des ONG participent aux réunions de concertation et de cadrage (des politiques et des actions en terme de lutte contre l'insécurité alimentaire). Et parviennent même, parfois, à peser sur les décisions (Loi d'orientation agricole au Mali et Loi d'orientation agro-sylvo-pastorale au Sénégal au cours de la décennie 2000). Au fur et à mesure que l'idée de structuration de la «société civile» s'impose comme un discours partagé – même si la réalité montre que ce processus ne doit pas être idéologisé, ni idéalisé – s'impose aussi la question de la «participation» (Pothukuchi, 2004). À l'échelle locale, ce phénomène est particulièrement visible (plans communaux de sécurité alimentaire au Mali, diagnostics participatifs réalisés par les ONG) même si la prise en compte de la «parole des enquêtés» relève parfois du populisme méthodologique, bien loin de la rigueur du «qualitatif» (Olivier de Sardan, 2008b). Cette nécessité à sans cesse rendre compte de ce qui est fait conduit aussi à accorder une plus grande place – et plus de moyens – aux outils d'information (bulletins, *flyers*, site internet) sans que leur contenu ne soit toujours très éclairant sur la nature des activités réellement déployées sur le terrain. Il sera beaucoup plus difficile d'impliquer, dans ces dispositifs de concertation, les réseaux marchands, éternels oubliés. Ils n'en n'ont – du fait de leur autonomie de gestion et des liens directs qu'ils entretiennent avec les gouvernants – ni le besoin, ni l'intention. Quant aux projets de coopération décentralisée (CILSS et al., 2006), ils ont du mal à se mettre en place du fait de la prégnance des frontières et du développement de l'insécurité géopolitique. Des marges de manœuvre importantes existent donc, à condition que les sociétés et les gouvernants investissent plus fortement ce champ dans un sens qui cadre mieux avec leurs intérêts stratégiques : moins en termes de «sécurité alimentaire» que «sécurisation alimentaire» (Dury, Janin, 2012).

## 6. Conclusion

Les représentations des crises alimentaires (africaines) ont singulièrement évolué depuis le début des années 2000. On peut d'abord y voir un « effet de contexte » lié au renforcement des risques multiformes dans certains contextes sahélo-soudaniens (le lien entre crise écologique, crise politique et crise alimentaire serait ainsi réactivé), à la globalisation systémique du risque (via la marchandisation des ressources et le processus de dérégulation des économies et des sociétés) et à l'élargissement progressif des intervenants (avec le rôle croissant des entreprises privées et des acteurs sociaux). On peut tout autant considérer qu'il s'agit d'un « effet de structure » induit par le renouvellement des cadres explicatifs, analytiques et interprétatifs des crises à visée opérationnelle. Le phénomène de non-concordance entre crise céréalière, crise agricole, crise pastorale, crise alimentaire et crise nutritionnelle en constitue également un des points clés (Maxwell et al., 2010).

En parallèle, l'amélioration progressive des dispositifs de *monitoring* des crises se poursuit. La plus visible est l'intégration des données spatialisées (SIG) traitant des différentes dimensions des crises alimentaires (agro-environnementale, socio-économique, nutritionnelle). Deux échelles de représentation cartographique sont privilégiées : locale ou régionale, pour la vulnérabilité des systèmes de vie (et leur éventuelle résilience), nationale ou sous-régionale, pour la hiérarchisation des situations alimentaires à risque. Un seuil d'efficacité semble néanmoins avoir été atteint par ces approches classificatoires normées conjoncturelles des crises alimentaires. En effet, de tels dispositifs suivis d'enquête restent coûteux et peinent à prendre en compte les temporalités longues des processus en œuvre (et leur réversibilité éventuelle) qui peuvent plus difficilement faire l'objet d'une mesure chiffrée.

D'une manière générale, les recherches comme les interventions se sont davantage focalisées sur l'amélioration des instruments de *monitoring* des crises alimentaires et nutritionnelles au détriment de leur réappropriation sociétale et politique, alors même que derrière l'apparente objectivation des instruments, la gestion d'une crise constitue un enjeu fondamental de pouvoir (en termes de ressources, de reproduction sociale ou de légitimation symbolique et politique). Qui plus est, dans les différents pays africains concernés, ces dispositifs constitués consacrent l'émergence d'une véritable ingénierie technocratique, à visée performative, partageant un ensemble de savoirs normés et d'outils codifiés et participant d'un décentrement sociétal et politique de la gestion des crises, même si ce point reste ambivalent. En effet, la décentralisation de la gestion technique des crises est contrebalancée par le maintien d'une centralisation de la décision politique. De fait, en dépit de ce perfectionnement incessant, ces systèmes experts peinent à anticiper et à réduire des crises toujours plus complexes et plus durables (UE-CEDEAO, 2008). Ne conviendrait-il pas, dès lors, de modifier la perspective ? Des analyses plus enracinées (à ne pas confondre avec les approches localisées), en termes d'économie politique, prennent ainsi tout leur sens, même si elles restent parfois difficiles à mettre en œuvre dans des systèmes de gouvernement encore parfois semi-autoritaires. Elles ont le mérite de permettre l'identification des lignes de fracture et des zones de friction (pas toujours déclarées comme telles entre acteurs par exemple) susceptibles de renforcer les incertitudes. De manière plus concrète, on peut, par ailleurs, penser que la promotion de la co-gestion participative de ces dispositifs, par l'insertion d'acteurs sociaux intermédiaires, non-experts, est porteuse, à moyen terme, en termes de gouvernance. Elle aurait l'avantage de ne pas laisser aux seuls acteurs militants et associatifs la tâche de « politiser l'agenda de la faim » pour tenter de la (ré-)inscrire au cœur des préoccupations et des débats.

## Bibliographie

- ACAPS, 2012. *Disaster Needs Analysis. Mali – March 2012*. <http://www.acaps.org/img/documents/disaster-needs-analysis-mali-dna-mali.pdf>
- Alpha A., Bricas N., Fouilleux E., 2013. *La difficile mise en œuvre d'une action publique intersectorielle en matière de sécurité alimentaire et de nutrition en Afrique*, Séminaire sécurité alimentaire de MOISA, Montpellier, 20 juin 2013, 22 p.
- Araujo Bonjean C., Brunelin S., Simonet C., 2010. *Prévenir les crises alimentaires au Sahel : des indicateurs basés sur les prix de marché*. Document de travail, AFD, **95**, 134 p.
- Arditi C., Janin P., Marie A. (éds.), 2011. *La lutte contre l'insécurité alimentaire au Mali. Réalités et faux semblants*. Paris : Karthala.
- Barrett C., Bell R., Lentz E.C., Maxwell D., 2009. Market information and food insecurity response analysis. *Food Security*, **1**, 151-168.
- Braidotti G., 2007. Innovating Responses to Crisis: Exploring the Principle of Non-Action as a Foresight Tool, *Journal of Futures Studies*, **12**(2), 53-68.
- Brockhaus M., Djoudi H., Kambire H., 2012. Multi-level governance and adaptative capacity in West Africa. *International Journal of the Commons*, **6**(2), 200-232.
- Brun T.A., 1975. Des famines climatiques aux famines économiques (évolution contemporaine des causes et des conséquences des famines. *Revue Tiers-Monde*, **16**(63), 609-630.
- Burg J., 2008. Measuring populations' vulnerabilities for famine and food security interventions: the case of Ethiopia's Chronic Vulnerability Index. *Disasters*, **32**(4), 609-630.
- Bush R., 1996. The Politics of Food and Starvation. *Review of African Political Economy*, **23**(68), 169-195.
- Chastanet M., 2008. Famines, subsistances et enjeux sociopolitiques dans les traditions historiques : exemples soninkés (Sénégal, Mauritanie, Mali. In : Chastanet M., Chrétien J.-P. (éds). *Entre la parole et l'écrit. Contributions à l'histoire de l'Afrique en hommage à Claude-Hélène Perrot*. Karthala, Paris, 77-97.
- CILSS-CSAO-FEWSNET-OCHA-PAM-RESIMAO-UNICEF, 2006. *Sécurité alimentaire et échanges transfrontaliers dans la zone de Kano-Katsina-Maradi, K<sup>2</sup>M*. Club du Sahel, 52 p. <http://www.oecd.org/fr/csao/evenements/38490626.pdf>
- Club du Sahel/OCDE, 2008. *Nouveaux contextes et enjeux de sécurité alimentaire au Sahel et en Afrique de l'Ouest*, <http://www.oecd.org/fr/csao/publications/41281211.pdf>
- Cortes Pons G., Gomez Carrasco I., 2012. *Première ligne de défense : évaluation du potentiel des stocks de proximité dans le Sahel*, Oxfam, 46 p. [http://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/premiere\\_ligne\\_de\\_defense\\_evaluation\\_du\\_potentiel\\_des\\_stocks\\_de\\_proximite\\_dans\\_le\\_sahel.pdf](http://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/premiere_ligne_de_defense_evaluation_du_potentiel_des_stocks_de_proximite_dans_le_sahel.pdf)
- CSAO-OCDE-CILSS, 2012. *Charte pour la prévention et la gestion des crises alimentaires au Sahel et en Afrique de l'Ouest*. <http://www.oecd.org/fr/csao/publications/41281118.pdf>
- Darcy J., Hofmann C.A., 2003. *According to need? Needs assessment and decision-making in the humanitarian sector*. [www.odi.org.uk/resources/docs/285.pdf](http://www.odi.org.uk/resources/docs/285.pdf)
- Dauvin P., 2006. 3. Le traitement journalistique des crises au regard de la sociologie de la production de l'information. In : Le Pape M. et al. (éds). *Crises extrêmes*. La Découverte, Paris, 57-71.
- Devereux S., 2004. *Food security issues in Ethiopia: Comparisons and contrasts between lowlands and highlands areas*, <http://www.eldis.org/vfile/upload/1/document/0708/DOC15761.pdf>
- Dorward A., Kydd J., 2004. The Malawi 2002 Food Crisis: The Rural Development Challenge. *The Journal of Modern African Studies*, **42**(3), 343-361.
- Drèze J., Sen A. (éds.), 1990. *The Political Economy of Hunger: Entitlement and Well-Being*. Vol. 1, Clarendon Press, Oxford, UK.
- Durand-Dastès F., 2001. Le temps, la géographie et ses modèles. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, **40**, 5-13.

- Dury S., Janin P., 2012. La sécurisation alimentaire en Afrique : enjeux, controverses et modalités. *Cahiers Agricultures*, **21**(5), 281-384.
- Elmekki A.G., 1999. Food crises: Their roots in a country's political and developmental crisis. In: Suliman M. (ed.). *Ecology, politics and violent conflicts*. Zed Books, London, UK, 228-256.
- Enten F., 2013. Le SAP éthiopien comme mode d'extraversion technique, interstitielle et totale de l'aide alimentaire. In : Colloque LAM-CNRS/Université de Bordeaux, 24-25 janvier 2013, « *Lutter contre la faim en Afrique* », 14 p.
- FAO, 2004. *L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde 2004. Suivi des progrès accomplis en vue de la réalisation des objectifs du Sommet mondial de l'alimentation et de la Déclaration du Millénaire*. FAO, Rome, 43 p.
- FAO, 2010. *L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde. Combattre l'insécurité alimentaire lors des crises prolongées*. FAO, Rome.
- FAO, 2011. *Stratégie de gestion des risques de catastrophe en Afrique de l'Ouest et au Sahel (FAO 2011-2013)*. FAO, Rome, 52 p.
- FAO, 2012. *Cadre intégré de classification de la sécurité alimentaire : Manuel technique version 2.0. Preuves et normes pour une meilleure prise de décision en sécurité alimentaire*. FAO, Rome.
- Fassin D., 2009. Les économies morales revisitées. *Annales HSS*, **6**, 1237-1266.
- Fine B., 1997. Entitlement failure? *Development and Change*, **4**, 617-647.
- Gado Alpha B., 1993. *Une histoire des famines au Sahel. Étude des grandes crises alimentaires (XIX<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècle)*. L'Harmattan, Paris.
- Galtier F., 2012. « Gérer l'instabilité des prix alimentaires ». Des solutions différentes pour le Nord, pour le Sud et pour les marchés internationaux. *Revue Tiers Monde*, **211**, 51-70.
- Green R.H., 2000. Rehabilitation: Strategic, Proactive, Flexible, Risky? *Disasters*, **24**(4), 343-362.
- Grünewald F., Tessier L., 2001. Zones grises, crises durables, conflits oubliés : les défis humanitaires. *Revue internationale de la Croix-Rouge*, **83**(842), 323-350.
- Hobbs C., Gordon M., Bogart B., 2012. When business is not as usual: Decision-making and the humanitarian response to the famine in South Central Somalia. *Global Food Security*, **1**, 50-56.
- Holt Gimenez E., Shattuck A., 2011. Food crises, food regimes and food movements: rumblings of reform or tides of transformation? *Journal of Peasant Studies*, **38**(1), 109-144.
- Howe P., 2010. Archetypes of famine and responses. *Disasters*, **34**(1), 30-54.
- Howe P., Devereux S., 2004. Famine Intensity and Magnitude Scales: A Proposal for an Instrumental Definition of Famine. *Disasters*, **28**(4), 353-372.
- Hugon P., 2000. L'économie de la famine, inefficience du marché, inéquité des droits ou risque systémique? *Revue économique*, **51**(3), 635-648.
- Janin P., 2008. Le soleil des indépendances (alimentaires) ou la mise en scène de la lutte contre la faim au Mali et au Sénégal. In : Giblin B., Janin P. (éds.), 2008. *Les enjeux de la crise alimentaire mondiale*. La Découverte, Hérodote, Paris, **131**, 92-117.
- Janin P., 2010a. L'insécurité alimentaire au Sahel : permanence du questionnement, renouvellement des approches. *Cahiers Agricultures*, **19**(3), 177-184.
- Janin P., coord., 2010b. Surveiller et nourrir. *Politique africaine*, **119**.
- Janin P., 2011a. Sécurité alimentaire et changement climatique : une lecture géopolitique des crises africaines et de leurs conséquences. In : Sellin C., Gardelle L. (dir.). *Réguler la mondialisation. Les défis du nucléaire et du réchauffement climatique*. Centre de recherche bretonne et celtique, Brest, France, 93-107.
- Janin P., 2011b. Leçons d'une crise alimentaire annoncée. In : Arditi C., Janin P., Marie A. (éds.). *La lutte contre l'insécurité alimentaire au Mali. Réalités et faux semblants*. Karthala, Paris, 41-68.
- Lagadec P., 2010. Crises « hors cadres » : oser un enseignement. In : Hirsch E., *Traité de bioéthique*. ERES, Paris, 469-485.



- Macrae J., Zwi A., 1994. Famine, Complex Emergencies and International Policy in Africa: An Overview, In: Macrae J., Zwi A. (eds), 1994. *War and Hunger; Rethinking International Responses to Complex Emergencies*. Zed Books and Save the Children Fund, London.
- Maître d'Hôtel É. et al., 2012. Les politiques de gestion de l'instabilité des prix agricoles. Leçons des expériences menées à Madagascar, au Mali et en Zambie. *Revue Tiers Monde*, **211**, 71-89.
- Matus J., 2007. The future of food security in the Three Areas of Sudan. *Disasters*, **31**(s1), s91-s103.
- Maxwell D., 1999. Programs in chronically vulnerable areas: challenges and lessons learned. *Disasters*, **23**(4), 373-384.
- Maxwell D., Fitzpatrick M., 2012. The 2011 Somalia famine: Context, causes, and complications. Special Issue on the Somalia Famine of 2011-2012. *Global Food Security*, **1**(1), 5-12.
- Maxwell D., Parker J., 2012. Coordination in food security crises: a stakeholder analysis of the challenges facing the global food security cluster. *Food Security*, **4**, 25-40.
- Maxwell D., Webb P., Coates J., Wirth J., 2010. Fit for purpose? Rethinking food security responses in protracted humanitarian crises. *Food Policy*, **35**(2), 91-97.
- Maxwell D., Gelsdorf K., Haan N., Dawe D. (eds), 2012. Special Issue on the Somalia Famine of 2011-2012. *Global Food Security*, **1**(1), 1-80.
- McMichael P., 2009. A food regime analysis of the 'world food crisis'. *Agricultural Human Values*, **26**, 281-295.
- Michiels D., Egg J. (avec les contributions de Blein R. et Delpuech F.), 2007. *Les politiques de prévention et de gestion des crises alimentaires. Enseignements de la crise du Niger de 2005*. MAEE-DGCID, Paris.
- Michiels D., Egg J., Blein R., 2012. La répétition des crises alimentaires et nutritionnelles au Niger : la rénovation urgente des politiques de sécurité alimentaire. *Cahiers Agricultures*, **21**, 302-310.
- Mourey A., 2004. *Manuel de nutrition pour l'intervention humanitaire*. CICR, Genève, 222 p.
- OECD, 1997. *DAC Guidelines on Conflict, Peace and Development Co-operation*. OECD, Paris.
- Olivier de Sardan J.P., 2008a. *La crise alimentaire au Niger*. AFD, Paris. *Afrique contemporaine*, **225**.
- Olivier de Sardan J.P., 2008b. *La rigueur du qualitatif. Les contraintes empiriques de l'interprétation socio-anthropologique*. Academia-Bruylant, Louvain-La-Neuve, Belgique, 368 p.
- Øygard R., 2005. *Malawi's persistent food crisis*, <http://www.aae.wisc.edu/seminars/papers/2005%20Fall%20papers/DevEcon/oygard.12.08.pdf>
- Oxfam, 2010. *La faim au Sahel : une urgence permanente?* <http://www.owfam.org/sites/www.oxfam.org/files/bn-faim-sahel-urgence-permanente-15122010-fr.pdf>
- Oxfam, 2013. *Quelles leçons tirées? Un bilan de la réponse à la crise alimentaire 2012 au Sahel pour construire la résilience*. Document d'information, 168, avril 2013, 46 p. [https://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/bp168-learning-the-lessons-sahel-food-crisis-160413-fr\\_1.pdf](https://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/bp168-learning-the-lessons-sahel-food-crisis-160413-fr_1.pdf)
- Parrochia D., 2009. Une approche scientifique des crises est-elle possible? In : Portal T., *Crises et facteur humain. Les nouvelles frontières mentales des crises*. De Boeck Supérieur, Paris, 189-196.
- Pingali P., Alinovi L., Sutton J., 2005. Food security in complex emergencies: enhancing food system resilience. *Disasters*, **29**(s1), s5-s24.
- Pini G., 2006. Drought impact assessment on food security: timing information for food crisis prevention. *Second MTP Training Course on Climate Change and Extreme Events*, 7 July 2006. Florence, Italy, Ibimet CNR.
- Pothukuchi K., 2004. Community Food Assessment: A First Step in Planning for Community Food Security. *Journal of Planning Education and Research*, **23**, 356-377.
- Pündrich A.P. et al., 2009. Les dimensions des crises : Analyse de deux études de cas sous les approches processuelle et événementielle. *Revue Internationale d'Intelligence Economique*, **1**, 213-235.
- Renzaho A.M.N., Mellor D., 2010. Food security measurement in cultural pluralism: Missing the point or conceptual misunderstanding? *Nutrition*, **26**(1), 1-9.

- Roshni M., 2007. *Famine in Malawi: Causes and Consequences*, Human Development Report 2007/2008. UNDP.
- Rubin O., 2008. The Malawi 2002 Famine – Destitution, Democracy and Donors. *Nordic Journal of African Studies*, **17**(1), 47-65.
- Rubin O., 2009. The Niger Famine: A Collapse of Entitlements and Democratic Responsiveness. *Journal of Asian and African Studies*, **44**(1), 279-290.
- Sahley C., Groelsema B., Marchione T., Nelson D., 2005. *The Governance Dimensions of Food Security in Malawi*, USAID, 74 p.
- Simonsson L., 2005. *Vulnerability Profile of Mali*. Poverty and Vulnerability Programme, Stockholm Environment Institute (SEI), 37 p.
- Swinnen J., 2011. The Right Price of Food. *Development Policy Review*, **29**(6), 667-688.
- UE-CEDEAO, 2008. *La politique agricole régionale (ECOWAP) et l'Offensive pour la production alimentaire et contre la faim, Séquence thématique prospective : Quels instruments pour assurer l'accès à l'alimentation des populations vulnérables ?* CEDEAO, Paris.
- UEMOA, 2011. *Étude sur la mise en place d'un dispositif régional de renforcement et de coordination des stocks nationaux de sécurité alimentaire dans l'espace UEMOA*. Union Économique et Monétaire Ouest-Africaine. [http://www.inter-reseaux.org/IMG/pdf/Etude\\_UEMOA-STOCKS\\_Rapport\\_Final.pdf](http://www.inter-reseaux.org/IMG/pdf/Etude_UEMOA-STOCKS_Rapport_Final.pdf)
- Vanhaute E., 2011. From famine to food crisis: what history can teach us about local and global subsistence crises. *Journal of Peasant Studies*, **38**(1), 47-65.
- Watts M.J., 1983. The Political Economy of Climatic Hazards: A Village Perspective on Drought and Peasant Economy in a Semi-Arid Région of West Africa. *Cahiers d'Études Africaines*, **23**(89-90), 37-72.
- Watts M., 1991. Entitlements or Empowerment? Famine and Starvation in Africa. *Review of African Political Economy*, **51**, 9-26.
- White P., Cliffe L., 2000. Matching Response to Context in Complex Political Emergencies: 'Relief', 'Development', 'Peace-building' or Something In-between? *Disasters*, **24**(4), 314-342.
- Zoundi Sibiri J., 2012. Agriculture vivrière : les Africains confrontés à des choix controversés de modèles agricoles. *Cahiers Agricultures*, **21**, 366-373.





## Crises alimentaires et nutritionnelles au Sahel et en Afrique de l'Ouest : Au-delà de la rhétorique 'Sécheresse – Famine'

Sibiri Jean Zoundi, Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest (CSAO/OCDE), OCDE, Paris,  
E-mail : sibirijean.zoundi@oecd.org

### Résumé

La perception des crises alimentaires et nutritionnelles survenues au cours des années 1970, largement dominée par la trilogie 'sécheresse – déficit céréalier – crise alimentaire', mérite d'évoluer pour céder la place à une compréhension plus inclusive des enjeux alimentaires et nutritionnels. Considérées depuis longtemps comme la cause principale des famines à répétition, les sécheresses ne seraient en réalité qu'un simple 'détonateur' pour une 'matière explosive' liée aux conditions de vie des ménages vulnérables et affectant l'accès et l'utilisation convenable des aliments. Il s'agit notamment des difficultés d'accès aux services sociaux de base (santé, éducation, hygiène-eau-assainissement, etc.) dont l'association avec la pauvreté et le faible pouvoir d'achat, entraîne une érosion des moyens d'existence des ménages et de leur résilience. Produire suffisamment de vivres ne devrait en aucun cas constituer un indicateur exclusif pour jauger le niveau de sécurité alimentaire et nutritionnelle, encore moins pour décider de l'action. L'acceptation de cette compréhension plus inclusive des crises alimentaires et nutritionnelles suppose un changement des stratégies d'investissement encore trop influencées par la rhétorique 'sécheresse-famine' et par conséquent guidée par l'urgence alimentaire ou le seul 'devoir de sauver des vies'. Cela suggère notamment des approches d'intervention mettant en harmonie la réponse à l'urgence et celle plus structurelle fondée sur un engagement politique fort, notamment pour le financement de la mise en œuvre des priorités identifiées.

### Food and nutritional crisis in the Sahel and West Africa: Beyond the rhetoric 'Drought-Famine'

The perception of food and nutritional crises of the 1970s, dominated by the trilogy 'drought – cereal deficit – food crisis', deserves to evolve to give way to a more inclusive understanding of food and nutritional issues. Considered for long time as the main cause of famines, droughts were in fact a simple 'detonator' for an 'explosive material' related to the living conditions of vulnerable households and affecting access to and appropriate use of food. These include lack of access to basic social services (health, education, water, sanitation, hygiene, etc.), when associated with poverty and low purchasing power, cause the erosion of the livelihoods of the households and their resilience. Producing enough food should not in any way constitute an exclusive indicator to gauge the level of food and nutritional security, nor to decide on the action. The acceptance of this more inclusive understanding of food and nutritional crises requires a change in investment strategies too influenced by the rhetoric 'drought-famine' and therefore guided by the food emergency or only 'duty to save lives'. This suggests approaches that favour the synergy between the emergency response and the more structurally one, based on a strong political commitment in particular to finance the implementation of the identified priorities.

## 1. Introduction

Ancrée dans les esprits depuis les années 1970, la trilogie 'sécheresse – déficit vivrier – crise alimentaire' demeure de nos jours l'explication répandue pour expliquer les crises alimentaires et nutritionnelles répétitives, notamment dans la bande sahélienne. Les discours politiques et les médias véhiculent cette rhétorique 'sécheresse-famine', cristallisant ainsi l'attention sur les facteurs conjoncturels de risque tels les sécheresses, criquets, etc. Même si les sécheresses ont constitué les éléments déterminants dans la chronologie des famines qu'a connues le Sahel

dans les années 1900 à 1980 (Gado, 2010), doit-on de nos jours persister dans cette perception réductrice de la sécurité alimentaire et nutritionnelle? La question paraît opportune dans un contexte où les experts du monde, sous les auspices du Comité de la sécurité alimentaire mondiale (CSA, 2012), tentent de parvenir à un consensus sur le terme «Sécurité alimentaire et nutritionnelle», associé à la définition suivante «la sécurité alimentaire et nutritionnelle existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique, social et économique à une nourriture saine, dont la quantité consommée et la qualité sont suffisantes pour satisfaire les besoins énergétiques et les préférences alimentaires des personnes, et dont les bienfaits sont renforcés par un environnement dans lequel l'assainissement, les services de santé et les pratiques de soins sont adéquats, le tout permettant une vie saine et active». Au-delà des dimensions traditionnelles (disponibilité, accessibilité, utilisation, stabilité), cette définition insiste davantage sur les conditions d'utilisation des aliments par les ménages vulnérables, et d'accès aux services sociaux de base (santé, éducation, hygiène-eau-assainissement, etc.). Elle souligne davantage les liens entre la récurrence des crises et les moyens d'existence des ménages vulnérables. Depuis les crises alimentaires de 1972-1973 (Janin, 2010), les réflexions avaient déjà commencé à questionner le lien entre les famines et la pauvreté. Le cadre stratégique de sécurité alimentaire durable au Sahel (CSSA) du Comité permanent Inter-États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel en 2000 (CILSS, 2000), intégrait déjà la dimension 'pauvreté'. Et pourtant, force est de constater que cette perception restrictive des enjeux alimentaires et nutritionnels persiste au risque de rendre inefficaces les politiques et approches d'intervention.

La présente contribution aborde le sujet en suggérant quelques éléments d'analyse et d'interpellation des décideurs politiques afin de combattre cette compréhension réductrice de la question alimentaire et nutritionnelle. Après une brève analyse des limites de la perception 'sécheresse-famine', une discussion est faite sur la nécessité de raisonner autrement les approches d'intervention.

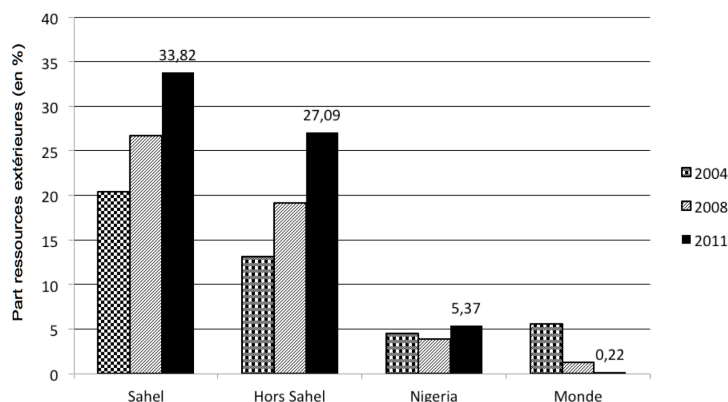
## 2. Le vrai faux alibi de l'imprévisible 'sécheresse'

Dans le Sahel ouest-africain comme dans la Corne de l'Afrique, les habitants semblent désormais familiers aux appels d'urgence alimentaire et humanitaire. Rien que dans les années 2000, les exemples ne manquent pas : 2005, 2007-2008, 2010, 2012 et bien d'autres épisodes suivront. Hormis la crise alimentaire 2007-2008, largement imputée à la volatilité excessive des prix mondiaux de denrées alimentaires, la plupart des épisodes de crise alimentaire a été perçue comme étant des crises provoquées par la sécheresse. Ainsi, dans la bande sahélienne, la rhétorique 'sécheresse-famine' semble persister dans l'analyse technique et le discours politique. Est-ce compréhensible qu'une simple mauvaise campagne agricole fasse basculer dans le cauchemar la vie de millions de populations? Ce questionnement souligne la difficulté de comprendre que 'l'imprévisible sécheresse' soit à chaque fois invoquée comme étant la cause principale des problèmes alimentaires et nutritionnels.

Les incertitudes climatiques font partie intégrante de la fragilité écologique de la bande sahélienne (CEDEAO-CSAO/OCDE, 2006). Des remèdes visant l'atténuation des effets de ces risques sur la production vivrière existent aussi. D'où la difficulté de comprendre le fait que la récurrence des crises alimentaires et nutritionnelles soit pour l'essentiel imputée aux sécheresses. Que se cache-t-il en réalité derrière ce simple alibi de la sécheresse?

L'autopsie de la crise alimentaire 2005 (Michiels et al., 2012), a beaucoup contribué au bouleversement de la compréhension habituelle des crises alimentaires et nutritionnelles au Sahel et en Afrique de l'Ouest. Elle a notamment confirmé que celles-ci sont de plus en plus hybridées et complexes avec une juxtaposition temporelle et spatiale de causes conjoncturelles et structurelles. La lecture de ce puzzle de causes imbriquées, indique que les chocs climatiques

et autres calamités naturelles ne joueraient en réalité qu'un rôle de 'détonateur'. La 'matière explosive', elle, serait constituée d'un cocktail multi-facteurs affectant l'accès et l'utilisation des aliments par les ménages vulnérables. Il s'agit notamment des difficultés d'accès aux services sociaux de base (santé, éducation, hygiène-eau-assainissement, etc.). Les quelques rares statistiques disponibles (The World Bank Group, 2014) indiquent qu'en 2011 la part de la population rurale ayant accès à des services améliorés d'assainissement variait de 2,70% pour le Togo à 39,10% pour le Sénégal; exception faite pour le Cap Vert et la Gambie, avec respectivement 45,30% et 64,80%. Entre 2006 et 2011, les dépenses par élève du primaire (en pourcentage du PIB par habitant) sont passées de 29,60% à 14,54% au Burkina Faso, de 18,81% à 15,15% au Cap Vert et, de 28,14% à 21,83% au Niger. Les mêmes statistiques (Figure 1) révèlent que la plupart des pays de la région semblent éprouver des difficultés à faire face seuls aux besoins sanitaires croissants et par conséquent ont de plus en plus recours à des financements extérieurs. Entre 2004 et 2011, la part moyenne des ressources extérieures dans les dépenses totales de santé est passée de 20,42% à 33,82% dans la plupart des pays sahéliens, alors que la moyenne mondiale indiquait une tendance à la baisse, passant de 5,6% à 0,22%. Dans certains pays comme le Bénin, la Côte d'Ivoire, la Gambie, le Mali, le Liberia ou la Sierra Leone, la part des ressources externes a pratiquement doublé entre 2004 et 2011.



**Figure 1.** Part des ressources extérieures pour la santé (en pourcentage du total des dépenses en santé).

Source : The World Bank Group, 2014.

Légende : Sahel : Burkina Faso, Gambie, Guinée Bissau, Mali, Niger et Tchad  
Hors Sahel : Bénin, Côte d'Ivoire, Guinée, Liberia, Sierra Leone.

Ces problèmes d'accès aux services sociaux de base, associés à la pauvreté et au faible pouvoir d'achat font basculer de nombreux ménages dans un cercle vicieux d'endettement et de décapitalisation progressive de leurs moyens de production (Tableau 1). Cette situation entraîne parfois l'érosion irréversible de leurs moyens d'existence et conséquemment de leur résilience. Ce cocktail de facteurs complexes et entremêlés serait en réalité le 'principal terreau de la reproduction des crises alimentaires et nutritionnelles et de leur chronicité'.

Ainsi, l'intensité de l'explosion et l'immensité des dégâts occasionnés – à savoir la capacité des ménages à résister aux chocs – sont fonction de l'importance de cette 'matière explosive' ou facteurs structurels dormants. Si le rôle de détonateur joué par les sécheresses ou autres calamités naturelles paraît imprévisible, la matière explosive, elle, est maîtrisable, mais demeure endémique dans bon nombre de pays sahéliens et ouest-africains. Cette lecture permet une meilleure compréhension de la répétition des crises alimentaires et nutritionnelles, surtout celles survenant pendant les années de bonne production vivrière. Produire suffisamment de vivres n'est plus une condition suffisante pour un pays d'être totalement à l'abri des crises

alimentaires et nutritionnelles. La chronicité de la matière explosive, laisse malheureusement penser que ‘bon nombre de pays de la région, notamment ceux de la bande sahélienne, sont en permanence en situation de risque potentiel d’insécurité alimentaire et nutritionnelle’ quel que soit l’état de la campagne agricole vivrière. Plusieurs faits étayent cette réalité de la matière explosive chronique.

**Tableau 1.** Stratégies de survie des ménages vulnérables face aux crises alimentaires et nutritionnelles.

Stratégies	Importance (% de ménages mettant en œuvre des stratégies de survie)	
	Ensemble des ménages	Ménages en insécurité alimentaire sévère
<b>Stratégies de niveau 1 : appliquées par les ménages pendant les chocs/crises de faibles ampleurs</b>		
Consommation d’aliments moins préférés	17,8	70,0
Diminution de la ration journalière	13,8	85,1
Achat de vivres à crédit	11,7	53,9
Diminution du nombre de repas journaliers	11,7	69,0
Recours aux emprunts de vivre	8,6	56,9
<b>Stratégies de niveau 2 : appliquées par les ménages pendant les chocs/crises d’amplitude moyenne</b>		
Vente d’animaux reproducteurs	6,9	16,4
Départ d’actifs plus que d’habitude	6,6	14,9
Vente de biens non productifs	2,1	8,5
<b>Stratégies de niveau 3 : appliquées par les ménages pendant les chocs/crises aigus</b>		
Vente de biens productifs	1,8	6,7
Vente de terres	0,7	3,7
Retrait des enfants de l’école	0,2	1,5

Source : République du Niger (2011).

## 2.1. Pouvoir d’achat et conditions générales de vie des ménages vulnérables : des facteurs structurels dormants des crises alimentaires et nutritionnelles répétitives

L’approche ‘économie des ménages’ (AEM), promue par plusieurs ONG (Gubbels, 2011), permet une meilleure compréhension de la manifestation des crises alimentaires et nutritionnelles. Des analyses concordantes confirment que l’extrême pauvreté, la spirale de l’endettement, l’absence de capacités de reproduction des moyens d’existence, sont entre autres facteurs au cœur de la récurrence des crises et de la décapitalisation progressive des ménages les plus vulnérables – un environnement hautement explosif quelle que soit l’intensité de la détonation (sécheresse et autres chocs naturels). Les stratégies d’adaptation développées par les ménages vulnérables au Niger (République du Niger, 2011) sont révélatrices de la fragilisation et de l’érosion contenue des moyens d’existence au fil de la reproduction des chocs (Tableau 1).

Au Niger comme en Guinée-Bissau, certaines investigations (Save The Children, 2009 ; Gubbels, 2011 ; WFP, 2011) révèlent les difficultés des ménages les plus pauvres à satisfaire leurs besoins alimentaires et les autres besoins de base même pendant les années normales de production vivrière. Au Niger, la production vivrière du ménage ne couvre à peine que 40 % des besoins. En Guinée-Bissau, les ménages ruraux consacraient 57 % de leur budget aux aliments ; environ 76 % des ménages dépendaient du marché pendant le pic de la soudure en juillet-août. On imagine alors les difficultés pour couvrir les besoins sociaux de base, santé, éducation, hygiène-eau-assainissement, etc., pourtant requis pour de bonnes pratiques nutritionnelles (Figure 2). Comme on peut le constater, ‘le sort alimentaire des ménages vulnérables reste lié au marché mais surtout à leur pouvoir d’achat’. Cette situation de fragilisation des moyens

d'existence et de la situation alimentaire et nutritionnelle des petits fermiers ruraux est liée à des causes multiples, y compris celles provoquées par la vague des politiques de libéralisation et de désengagement des États (Zoundi, 2012). Les résultats du programme RuralStruc (Losch et al., 2012) confirment qu'à côté des paysans 'gagnants' qui s'adaptent à ce nouvel environnement en s'insérant dans des niches porteuses, il y a de plus en plus de ruraux 'perdants' contraints de quitter progressivement l'agriculture à la recherche d'autres opportunités d'emploi et de survie.

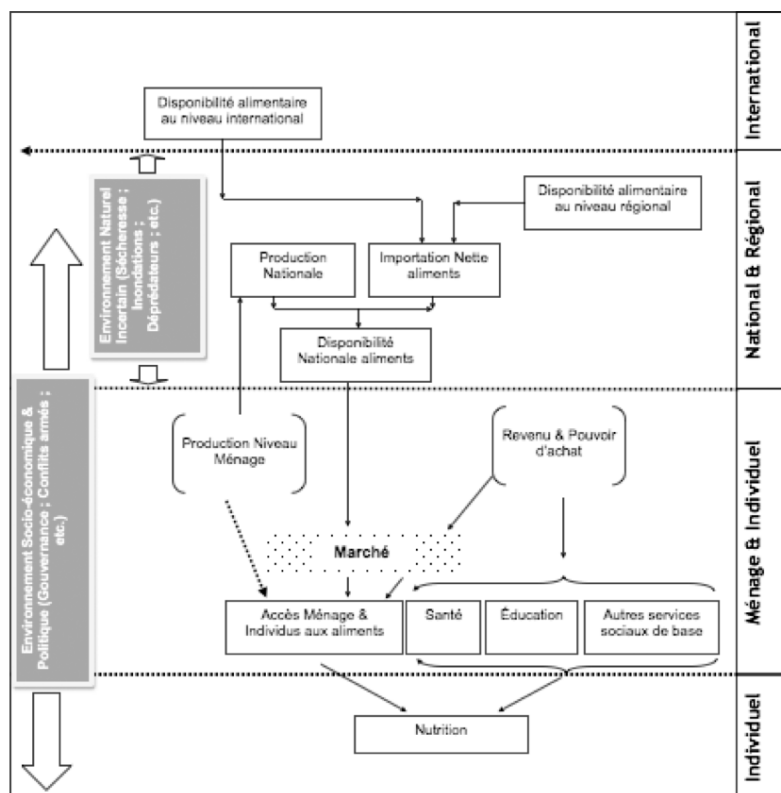


Figure 2. Quelques déterminants de la sécurité alimentaire et nutritionnelle.

Les statistiques sur les sources d'approvisionnement en aliments (Tableau 2) et les dépenses alimentaires des ménages (Tableau 3) (MSU, 2011) sont révélatrices de cette réalité. Même en milieu rural, où une bonne partie des ménages vit de l'agriculture, le marché demeure la principale source d'approvisionnement en aliments. À Maradi, un des bassins vivriers du Niger, les achats représentent 61,6% des besoins de consommation, signe d'une forte dépendance vis-à-vis du marché. Ces mêmes sources (MSU, 2011) révèlent qu'au Sénégal, la part des achats en milieu rural est passée de 76,2% en 1994-95 à 84,4% en 2001-02. Au Burkina Faso, elle a varié de 43,65% en 1994 à 51,94% en 2003. En Côte d'Ivoire, cette proportion est passée de 32,7% en 1993 à 55,5% en 2008. Conséquemment, les charges alimentaires deviennent de plus en plus un lourd fardeau (au moins 50% des dépenses totales) que les budgets des ménages les plus vulnérables doivent supporter (Tableau 3).

**Tableau 2.** Principales sources d’approvisionnement en aliments (part des différentes sources en %).

Pays	Sources	National	Rural	Urbain
Burkina Faso (2003)	Achat	62,0	52,0	89,5
	Auto-consommation	38,0	48,0	10,5
Côte d’Ivoire (2008)	Achat	76,6	53,1	96,2
	Auto-consommation	23,4	46,9	3,8
Mali (2006)	Achat	81,4	70,8	95,5
	Auto-consommation	18,0	28,7	3,9
	Autres	0,6	0,5	0,6
Niger (2005)	Achat	72,5	67,0	93,2
	Auto-consommation	27,5	33,0	6,8
Sénégal (2002)	Achat	86,7	84,4	88,0
	Auto-consommation	9,0	11,1	7,8
	Autres	4,3	4,5	4,2
Togo (2006)	Achat	79,9	66,2	94,6
	Auto-consommation	20,1	33,8	5,4

Source : MSU (2011).

**Tableau 3.** Poids des dépenses alimentaires dans le budget des ménages (part relative en % dépenses totales).

Pays	National	Rural	Urbain
Burkina Faso (2003)	53,6	59,2	41,9
Côte d’Ivoire (2008)	38,6	45,6	34,0
Mali (2006)	43,4	53,1	35,0
Niger (2005)	60,1	63,7	49,4
Sénégal (2002)	50,8	57,7	46,5
Togo (2006)	51,6	60,3	44,6

Source : MSU (2011).

## 2.2. L'éternel cauchemar de la malnutrition

La malnutrition chronique observée dans la région, constitue le reflet d’une matière explosive endémique dans bon nombre de pays. Depuis le début des années 2000, le taux de malnutrition aiguë globale (MAG) est demeuré au-dessus du seuil d’alerte de 10% dans le Sahel et le nombre d’enfants traités pour la malnutrition aiguë sévère (MAS) était de 500 000, 619 000 et 850 000, respectivement en 2010, 2011 et 2012 (UNICEF, 2012). L’UNICEF estime d’ailleurs qu’environ 226 000 enfants de moins de cinq ans meurent chaque année de causes associées à la malnutrition. La faiblesse des revenus affecte la capacité des plus pauvres à accéder à l’alimentation et aux services sociaux de base (santé, éducation – en particulier des filles –, eau potable...), avec comme conséquence la prévalence de maladies endémiques (malaria) et d’épidémies (rougeole, choléra, méningite, diarrhée, infections respiratoires aiguës, etc.), associées à des pratiques nutritionnelles inadaptées. Cette situation préoccupante ne se limite pas au Sahel mais s’étend à certains pays de la bande côtière comme le Liberia, la Sierra Leone, la Guinée-Bissau. Au Liberia par exemple, le taux de malnutrition chronique des enfants de moins de cinq ans est de 39% et n’a pratiquement pas changé depuis 2000 (Liberia-UNICEF, 2008).

Ainsi la complexité des facteurs et leur imbrication exigent la convergence d’actions au niveau de plusieurs départements ministériels, agriculture, environnement, commerce, santé, éducation, affaires sociales, planning familial, etc. Au Niger comme au Mali, ces causes structurelles sous-jacentes de la malnutrition chronique se sont révélées comme étant le principal terreau de la récurrence et de l’aggravation des crises. Des taux de malnutrition



aiguë globale dépassant le seuil d'alerte ont été relevés même dans des zones réputées être les bassins vivriers comme c'est le cas de Maradi au Niger ou de Sikasso au Mali (Dury, Bocoum, 2012). Aussi paradoxale qu'elle soit, cette situation est révélatrice de la complexité des crises alimentaires et nutritionnelles ainsi que leur répartition spatio-temporelle. L'évidence est qu'une bonne production vivrière peut tout aussi cacher de sérieux risques d'insécurité alimentaire et nutritionnelle, même localisés. Si une offre alimentaire insuffisante est généralement source de problèmes, une bonne disponibilité en produits vivriers n'élimine pas forcément aussi tout risque d'insécurité alimentaire et nutritionnelle. La figure 2 montre toute la complexité des déterminants agissant tant au niveau ménage qu'individuel. Cette réalité suggère que les questions relatives aux conditions de vie des ménages vulnérables soient davantage prises en compte dans les politiques de sécurité alimentaire et nutritionnelle. Par conséquent, 'juger l'état de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle uniquement sur la base de l'offre alimentaire paraît biaisé et masque les autres paramètres liés à la vulnérabilité chronique'.

### 3. Raisonner autrement

#### 3.1. Compréhension inclusive des crises

De ce qui précède, il apparaît que l'offre globale ou la production vivrière locale ne sont pas à eux seuls suffisants pour jauger du niveau de sécurité alimentaire et nutritionnelle, encore moins de décider de l'action à entreprendre. D'où la nécessité que la rhétorique 'Sécheresse-famine' cède définitivement la place à une compréhension plus inclusive des crises alimentaires et nutritionnelles prenant mieux en compte les autres facteurs liés à la vulnérabilité chronique.

De nos jours, la 'matière explosive', chronique dans plusieurs pays de la région, paraît insuffisamment prise en compte par les dispositifs d'information et d'aide à la prise de décision (Janin, 2010). Pourtant, la répétition des crises dans le Sahel en particulier ne devrait plus être une surprise, ni perçue comme une fatalité, pour deux principales raisons. Premièrement, même si le détonateur (chocs naturels) demeure imprévisible, des options techniques et politiques existent pour rendre la production vivrière moins soumise aux incertitudes climatiques. Parmi les remèdes courants, il y a les investissements dans la maîtrise de l'eau, la productivité et la durabilité agricole, et plus globalement le développement d'une agriculture en phase avec le climat 'Climate-Smart Agriculture', etc. Sur le sujet, les États peuvent bien inscrire leurs démarches dans des processus de construction de l'enjeu alimentaire «pour et sur la sécurisation alimentaire» (Touzard, Temple, 2012), notamment en s'engageant à créer une bonne alliance entre politiques alimentaires et celles d'innovation. La deuxième raison est l'existence de remèdes à la portée des États pour éradiquer la matière explosive, notamment l'engagement durable dans la réduction de la pauvreté, l'amélioration du pouvoir d'achat, de l'accès aux services sociaux de base et à de la protection sociale, etc.

Par conséquent, la nécessité de refonder la compréhension des crises alimentaires et nutritionnelles s'impose comme une condition *sine qua non* pour mieux les prévenir mais aussi pour se préparer à les gérer lorsqu'elles surviennent. Cela recommande un reformatage des esprits au niveau des sphères techniques et décisionnelles des États, non seulement pour décroquer les institutions techniques en charge des questions alimentaires et nutritionnelles, mais surtout pour impulser des processus programmatiques les plus inclusifs possibles, en ligne avec la nouvelle compréhension de la 'sécurité alimentaire et nutritionnelle'. Le principal défi pour les décideurs politiques de la région serait donc l'acceptation que la sécurité alimentaire et nutritionnelle est avant tout un problème de développement – et qu'une approche inclusive, multisectorielle (agriculture, santé, éducation, économie locale, affaires sociales, etc.) est requise. Pour l'instant, la réalité semble être bien loin de cette refondation des esprits. Dans la plupart des pays, la jauge de l'état de sécurité alimentaire et nutritionnelle demeure

quasi-exclusivement fondée sur les productions vivrières. Pis encore, au-delà des ambitions politiques maintes fois clamées dans les discours, la sécurité alimentaire et nutritionnelle demeure dans bien des cas l'affaire du seul département ministériel en charge de l'agriculture. Un tel environnement offre peu de marges de manœuvre pour une considération du rôle joué par la matière explosive dans la récurrence des crises alimentaires et nutritionnelles.

### **3.2. Gouvernance de la sécurité alimentaire et nutritionnelle : une ambition piégée par la récurrence de l'urgence alimentaire**

La préoccupation d'une gouvernance renforcée de la sécurité alimentaire et nutritionnelle est déjà ancienne dans la région avec la création du CILSS (Comité permanent Inter-États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel) en 1973. De par son mandat, le CILSS constitue en lui-même un instrument d'adaptation au changement climatique, de prévention et de gestion des crises alimentaires. Dans le sillage du CILSS est né le Club du Sahel en 1976 (devenu Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest – CSAO en 2001), traduction de la volonté des Sahéliens et de leurs partenaires internationaux d'unir leurs efforts face aux enjeux alimentaires et de développement en général. L'action concertée du CILSS et du CSAO a notamment permis : 1) la création en 1984 du Réseau de Prévention des Crises Alimentaires (RPCA), plateforme internationale d'analyse, de dialogue et de coordination, et ; 2) l'adoption en 1990 de la charte de l'aide alimentaire dont la révision a donné naissance en 2011 à la Charte pour la prévention et la gestion des crises alimentaires au Sahel et en Afrique de l'Ouest.

Cette ambition d'une gouvernance régionale solide a été épaulée par une construction politique et économique. La création en 1975 de la Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) et de l'Union Économique et Monétaire Ouest-Africaine (UEMOA) en 1994, a constitué un tournant décisif dans la consolidation d'une ambition régionale de sécurité alimentaire et nutritionnelle. En plus du CSSA du CILSS, les États de la région se sont dotés de politiques : 1) agricoles : la politique agricole de l'UEMOA (PAU) en 2001 et celle de la CEDEAO (ECOWAP) en 2005 ; 2) de prévention et réduction des risques (celle de la réduction des risques de catastrophes en 2007 et celle humanitaire en 2012). La plupart de ces politiques ont été déclinées dans les pays en programmes d'investissement dont l'ensemble constitue l'agenda régional de sécurité alimentaire et nutritionnelle.

Ce n'est donc pas la volonté politique, ni les politiques qui manquent dans la région. Ce qui est souvent questionné est leur pertinence, l'effectivité et les conditions de leur mise en œuvre.

#### **3.2.1. Sortir du piège de la gestion récurrente de l'urgence alimentaire**

Sous l'emprise de la perception restrictive 'sécheresse-famine', l'ambition de sécurité alimentaire et nutritionnelle demeure minée par des approches d'investissement largement orientées vers la réponse à l'urgence alimentaire – On ne mobilise généralement les ressources que pour soigner les dégâts lorsque la campagne agricole est mauvaise ! Cette logique de 'Sapeur-pompier' conduit bon nombre de pays à circonscrire leurs stratégies d'intervention de sécurité alimentaire et nutritionnelle au 'Seul devoir de sauver des vies' ; l'essentiel des investissements étant orienté vers des réponses conjoncturelles d'urgence. Dans certains cas où la volonté de s'attaquer aux causes structurelles existe, c'est malheureusement la logique du 'tout agriculture' qui l'emporte au détriment de celle plus inclusive et intersectorielle favorisant une meilleure prise en compte des déterminants liés aux conditions de vie des ménages vulnérables.

Cette gestion récurrente de l'urgence alimentaire constitue malheureusement un piège. Non seulement les coûts associés sont exorbitants, mais ils sont engagés au détriment des efforts des États pour la recherche de solutions durables. Les statistiques révèlent un strict minimum de 200 millions de dollars US requis par pays, dont au moins 10-15 % de ressources

propres des États, pour la gestion d'une crise d'ampleur équivalente à celle que le Sahel a connue en 2010 ou 2012. Au Niger par exemple, la gestion de la crise alimentaire 2010 aurait coûté pas moins de 350 millions de dollars US (UN-OCHA, 2011); l'effort propre de l'État nigérien était évalué à au moins 15 milliards de F CFA, soit environ 30 millions de dollars. Pour la crise alimentaire 2012, qui a coûté au moins 220 millions de dollars US (UN-OCHA, 2012), en plus des 19 milliards de F CFA (environ 38 millions de dollars US) couverts par le budget national, le Gouvernement a négocié 20 millions de dollars US de prêt auprès de banques internationales de développement pour la constitution de stocks alimentaires à l'Office des produits vivriers du Niger (OPVN), soit un effort global d'environ 58 millions de dollars US. Cela représente, environ 2,3 % du budget national et 5 % du budget d'investissement 2012. Au Burkina Faso (MAH/MEF, 2012), sur un coût de plus de 122 milliards de F CFA (environ 244 millions de dollars US), l'apport propre de l'État burkinabè a été d'au moins 13 % du total, soit près de 32 millions de dollars US. Cela représenterait environ 1,8 % de son budget d'investissement 2012.

Ces quelques chiffres soulignent l'importance du coût de l'urgence alimentaire, tant en ce qui concerne l'effort des États que celui de la communauté internationale. En admettant qu'un pays de la région réponde en moyenne à l'urgence alimentaire au moins 2 fois tous les 5 ans, l'effort financier de l'urgence alimentaire compromettrait la réalisation d'un programme structurant de sécurité alimentaire et nutritionnelle d'au moins 70-80 millions de dollars US que l'État aurait pu financer entièrement sur ses ressources propres.

L'enseignement majeur pour les gouvernants est que l'orientation des stratégies d'investissement vers la réponse récurrente à l'urgence alimentaire, d'une part coûte plus cher aux finances publiques et d'autre part affaiblit les capacités des États dans la recherche de solutions durables. Répondre à l'urgence alimentaire pendant certaines années paraît inévitable en raison de l'extrême fragilité écologique que connaissent certaines zones de la région. Toutefois, l'urgence alimentaire ne devrait, sous aucun prétexte, s'installer comme une logique dominante de la stratégie d'intervention des États. Le défi serait donc de sortir de ce piège en faisant en sorte que la réponse à l'urgence et celle structurelle soient complémentaires autour de la réalisation d'un objectif commun, à savoir : 'renforcer la capacité de résilience des ménages et familles vulnérables, et partant de les aider à sortir progressivement et durablement du cercle vicieux de la pauvreté et des crises alimentaires et nutritionnelles chroniques'.

Par conséquent, le pari d'une sécurité alimentaire et nutritionnelle durable devrait aller de pair avec un engagement soutenu des États pour l'investissement dans la durée. D'où l'importance de rappeler aux gouvernants qu'il est dommageable de vouloir caler l'atteinte des résultats de l'investissement dans la sécurité alimentaire et nutritionnelle uniquement à l'échelle de temps du mandat électoral – même si par ailleurs la publicité autour de ces mandats politiques milite généralement en faveur d'actions d'éclat de court terme.

Un changement de comportement et de rôle de la communauté internationale paraît aussi nécessaire. Celle-ci devrait plus se focaliser sur l'accompagnement des États et de leurs organisations inter-gouvernementales (OIGs) dans la recherche de remèdes structurels aux crises alimentaires et nutritionnelles – et délaisser ainsi le rôle peu confortable et parfois complice de 'sapeur-pompier'. Un tel changement d'attitude de la communauté internationale pourrait constituer la pierre angulaire d'une coopération renouée en matière de développement et, de sécurité alimentaire et nutritionnelle en particulier, dans un contexte de crise économique mondiale et de risque de forte récession de l'aide publique au développement.

### ***3.2.2. Promouvoir un engagement souverain plus accru dans la prise en charge des enjeux alimentaires et nutritionnels***

Disposer d'une politique de sécurité alimentaire et nutritionnelle n'est pas une finalité en soi pour un État; l'essentiel se joue dans l'engagement pour le financement de sa mise en

œuvre. En d'autres termes, il paraît insensé pour un pays ou une région de définir une politique alimentaire comme étant sa priorité tout en laissant quasi-exclusivement sa mise en œuvre au bon vouloir de partenaires extérieurs. Ce constat demeure malheureusement une réalité et est à la base de l'image caricaturale généralement perçue des pays de la région comme étant des 'cimetières de politiques'.

La solidarité internationale face aux enjeux alimentaires de la région paraît incontournable, mais celle-ci ne peut produire les impacts durables escomptés que si elle repose sur un minimum de responsabilité et d'engagement politique des pays partenaires. À ce sujet, les incertitudes croissantes au niveau de l'aide publique au développement imposent la mobilisation des ressources financières propres par les États comme étant un des défis majeurs à relever par les gouvernants. En 2010 par exemple, alors que l'OCDE tablait sur une augmentation de l'aide publique au développement (APD) de 2 % en moyenne entre 2011 et 2013 (contre 8 % en moyenne en 2008-2010), les données statistiques affichaient une baisse moyenne de -2,7 % de l'aide fournie par les membres du Comité d'aide au développement (CAD/OCDE, 2012) pendant la période 2010-2011. Le décrochage s'est poursuivi en 2012 avec une baisse de l'APD de 4 % en valeur réelle.

L'engagement de Maputo en 2003 pour l'allocation de 10 % des budgets nationaux à l'agriculture constitue un geste remarquable de responsabilité et de souveraineté – mais celle-ci n'apporte cependant pas de réponse à la question du 'comment mobiliser ces ressources au niveau des États?'. Les Perspectives Économiques de l'Afrique (BAD/OCDE, 2010) sur la mobilisation des ressources publiques et l'aide sont sans équivoque. La mobilisation des ressources fiscales pour le financement du développement demeure faible dans la plupart des pays africains, avec moins de 15 % de part des ressources fiscales dans le PIB contre 35 % pour les pays de l'OCDE. Cette situation rend ces pays tributaires de l'aide pour le financement de leurs projets de développement. D'importants défis sont donc à relever au niveau des réformes fiscales pour l'accroissement des ressources publiques mais aussi la création d'un environnement des affaires favorable à la mobilisation de ressources financières privées.

## 4. Conclusion

Sans remettre en cause l'impact des sécheresses sur l'offre alimentaire et les revenus des ménages, ni la pertinence de l'urgence alimentaire dans certaines circonstances, il paraît opportun de questionner les décideurs politiques sur la persistance des logiques d'intervention encore piégées par la rhétorique 'sécheresse-famine'. L'indispensable nécessité de reformater ce carcan de pensée au niveau des sphères expertes et politiques paraît indispensable car le 'risque zéro' d'insécurité alimentaire et nutritionnelle n'existe pas quelle que soit l'abondance de l'offre alimentaire. Cette situation est imposée par la prévalence d'une 'matière explosive' dans bon nombre de pays – un cocktail multi-facteurs pour lequel, pauvreté, difficultés d'accès des ménages aux services sociaux de base, dégradation continue de leurs moyens d'existence s'entremêlent.

Ancrer l'action autour de cette dimension multifactorielle des enjeux alimentaires et nutritionnels recommande notamment que les techniciens et les décideurs politiques se débarrassent progressivement de leurs lunettes de vision du 'tout agriculture' pour s'embarquer dans une démarche plus intersectorielle et inclusive. Tout en favorisant une prise en charge durable à la vulnérabilité chronique, une telle approche permet aussi de réduire la fréquence de recours à l'urgence alimentaire, tant coûteuse pour les finances publiques des États que pour celles de leurs partenaires.

Des dynamiques intégrant ces préoccupations sont progressivement mises en incubation dans la région, comme c'est le cas de la stratégie 'Faim-Zéro' ou de l'Alliance globale pour la résilience – AGIR Sahel et Afrique de l'Ouest. Les leçons du passé nous enseignent

cependant que la région ne manque pas de politiques et que celles-ci n'ont de sens que lorsque le financement de leur mise en œuvre est assuré. Active depuis des décennies, la communauté internationale a toujours manifesté sa solidarité face aux défis alimentaires et nutritionnels de la région. Toutefois, afin d'augmenter les chances pour des impacts durables de cette solidarité, les États et leurs OIGs devraient montrer les gages d'un engagement politique plus soutenu dans la mobilisation accrue de ressources propres pour la mise en œuvre de leurs priorités. Cette question pourrait constituer une des pistes de réflexion à approfondir dans la perspective d'un renforcement de la gouvernance régionale de sécurité alimentaire et nutritionnelle.

## Bibliographie

- CAD/OCDE, 2012. *Le décrochage de l'aide aux pays pauvres se poursuit à mesure que les gouvernements serrent la vis budgétaire*. <http://www.oecd.org/fr/presse/le-decrochage-de-laide-aux-pays-pauvres-se-poursuit-a-mesure-que-les-gouvernements-serrent-la-vis-budgetaire.htm>
- CEDEAO-CSAO/OCDE, 2006. *La zone fragile sahélienne*. Secrétariat du Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest (CSAO/OCDE), Paris. <http://www.oecd.org/fr/csa/publications/38410487.pdf>
- CILSS, 2000. *Cadre stratégique de sécurité alimentaire durable dans une perspective de lutte contre la pauvreté au Sahel*. Secrétariat Exécutif du CILSS, Ouagadougou. <http://www.cilss.bf/IMG/pdf/cssa.pdf>
- CSA (Comité de la Sécurité Alimentaire Mondiale), 2012. *S'entendre sur la terminologie*. In : *Trente-neuvième session, 15-20 octobre 2012*, Rome, CFS 2012/39/4, 17 p. <http://www.fao.org/docrep/meeting/026/MD776F.pdf>
- Dury S., Bocoum I., 2012. Le « paradoxe » de Sikasso (Mali) : pourquoi « produire plus » ne suffit-il pas pour bien nourrir les enfants des familles d'agriculteurs ? *Cahiers Agricultures*, **21**, 324-36.
- Gado B.A., 2010. *Crises alimentaires en Afrique Sahélienne*. Les Éditions du Flamboyant, Cotonou, 210 p.
- Gubbels P., 2011. *Échapper au cycle de la faim : Les chemins de la résilience au Sahel*. Groupe de Travail sur le Sahel (CAFOD, CARE, CONCERN, Christian AID, OXFAM, Plan, Save The Children, Tearfund, World Vision), 124 p. <http://www.oxfam.org/sites/www.oxfam.org/files/rr-escaping-hunger-cycle-sahel-food-security-260911-fr.pdf>
- Janin P., 2010. La lutte contre l'insécurité alimentaire au Sahel : permanence des questionnements et évolution des approches. *Cahiers Agricultures*, **19**, 177-82.
- Liberia – UNICEF, 2008. *The Country Programme Action Plan 2008 – 2012. Between The Government of Liberia and The United Nations Children's Fund (UNICEF)*. UNICEF, West and Central Africa Regional Office, Dakar, 54 p. [http://www.unicef.org/wcaro/WCARO\\_Pub\\_Liberia\\_CPAP08-12.pdf](http://www.unicef.org/wcaro/WCARO_Pub_Liberia_CPAP08-12.pdf)
- Losch B., Fréguin-Gresh S., White E.T., 2012. *Structural transformation and rural change revisited: challenges for late developing countries in a globalizing world*. Africa Development Forum. World Bank, Washington DC. [http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2012/07/13/000333038\\_20120713023756/Rendered/PDF/709850PUB0EPI0070063B09780821395127.pdf](http://www-wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2012/07/13/000333038_20120713023756/Rendered/PDF/709850PUB0EPI0070063B09780821395127.pdf)
- MAH/MEF, 2012. *Plan opérationnel de soutien aux populations vulnérables aux crises alimentaires, Avril 2012*. Ministère de l'Agriculture et de l'Hydraulique (MAH) et Ministère de l'Économie et des Finances (MEF), Ouagadougou. <http://foodsecuritycluster.net/document/plan-op%C3%A9rationnel-de-soutien-aux-populations-vuln%C3%A9rables-aux-crisis-alimentaires-version-du>
- Michiels D., Egg J., Blein R., 2012. La répétition des crises alimentaires et nutritionnelles au Niger : la rénovation urgente des politiques de sécurité alimentaire. *Cahiers Agricultures*, **21**, 302-10.
- MSU, 2011. *Étude sur la consommation alimentaire en Afrique de l'Ouest : Rapport de synthèse*. Michigan State University, Groupe de recherche Sahel et Afrique de l'Ouest, Bamako, 82 p. [http://fsg.afre.msu.edu/srai/Etude\\_consommation\\_rapport\\_regional\\_revue\\_diallo.pdf](http://fsg.afre.msu.edu/srai/Etude_consommation_rapport_regional_revue_diallo.pdf)

- OCDE/BAD, 2010. *Perspectives économiques en Afrique 2010. Thème spécial : La mobilisation des ressources publiques et l'aide*. OCDE, BAD. OCDE, Paris. <http://www.africaneconomicoutlook.org/fr/thematique/la-mobilisation-de-ressources-publiques-et-laide-en-afrique-2010/>
- République du Niger, 2011. *Enquête sur la sécurité alimentaire des ménages au Niger*. Résumé exécutif. République du Niger. [http://www.reca-niger.org/IMG/pdf/Resume\\_executif\\_enquete\\_securite\\_alimentaire\\_Niger\\_janvier\\_2001.pdf](http://www.reca-niger.org/IMG/pdf/Resume_executif_enquete_securite_alimentaire_Niger_janvier_2001.pdf)
- Save The Children, 2009. *Understanding the Household Economy in rural Niger*. Save The Children, London, 98 p. [http://www.savethechildren.org.uk/sites/default/files/docs/Understanding\\_HE\\_in\\_Rural\\_Niger\\_low\\_res\\_comp\\_1.pdf](http://www.savethechildren.org.uk/sites/default/files/docs/Understanding_HE_in_Rural_Niger_low_res_comp_1.pdf)
- The World Bank Group, 2014. *World Bank Open Data*. The World Bank Group, Washington DC. <http://data.worldbank.org/>
- Touzard J.M., Temple L., 2012. Sécurisation alimentaire et innovations dans l'agriculture et l'agroalimentaire : vers un nouvel agenda de recherche ? Une revue de la littérature. *Cahiers Agricultures*, **21**, 293-301.
- UNICEF, 2012. *Children in crisis in the Sahel. Progress Report*. UNICEF, West and Central Africa Regional Office, Dakar, 48 p. [http://www.unicef.fr/userfiles/UNICEF\\_Report-ChildrenInCrisisInTheSahel-2012.pdf](http://www.unicef.fr/userfiles/UNICEF_Report-ChildrenInCrisisInTheSahel-2012.pdf)
- UN-OCHA, 2011. *Niger : Appel Global 2011*. UN-OCHA, NY, USA, 81 p. [https://docs.unocha.org/sites/dms/CAP/CAP\\_2011\\_Niger\\_FR\\_SCREEN.pdf](https://docs.unocha.org/sites/dms/CAP/CAP_2011_Niger_FR_SCREEN.pdf)
- UN-OCHA, 2012. *Niger: Appel Global 2012. Revue à mi-parcours*. UN-OCHA, NY, USA, 63 p. [https://docs.unocha.org/sites/dms/CAP/MYR\\_2012\\_Niger.pdf](https://docs.unocha.org/sites/dms/CAP/MYR_2012_Niger.pdf)
- WFP, 2011. *Évaluation approfondie de la sécurité alimentaire et de la vulnérabilité des ménages ruraux en Guinée-Bissau*. WFP, Rome. <http://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/ena/wfp236186.pdf>
- Zoundi S.J., 2012. Agriculture vivrière : les Africains confrontés à des choix controversés de modèles agricoles. *Cahiers Agricultures*, **21**(5), 366-373.



## Performances camerounaises en matière de sécurité alimentaire : le cas des céréales

Ngo Nonga Fidoline, Université de Yaoundé II, Soa, Cameroun,

E-mail : fiona\_nonga@yahoo.fr

Minkoua Nzie Jules René, Université de Yaoundé II, Soa, Cameroun,

E-mail : minkouarene@yahoo.fr

Bedzeme Thierry Ghislain, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal,

E-mail : bedzemethierry@yahoo.fr

### Résumé

L'objectif général de cette communication est de caractériser la sécurité alimentaire au Cameroun. De manière spécifique, il s'agit d'une part, de décrire les évolutions des diverses composantes de la sécurité alimentaire que sont la disponibilité, l'accessibilité et la qualité nutritionnelle, et d'autre part, d'évaluer leurs principaux déterminants. L'analyse utilise les données secondaires. Un modèle économétrique et les tests statistiques sont utilisés pour caractériser la sécurité alimentaire. Nous postulons que le riz ordinaire est représentatif des céréales. L'évaluation des déterminants révèle que si l'instabilité des prix agit négativement sur la disponibilité, il n'en est pas de même pour le PIB et l'indice de la production vivrière. S'agissant de l'accessibilité, elle est affectée négativement par l'instabilité des prix, la croissance démographique, l'indice de la production vivrière et le taux d'inflation, et, positivement par le revenu par tête.

### Cameroonian performances in matters of food security: The case of cereals

The main objective of this paper is to characterize food security in Cameroon. More specifically, this study aims on the one hand at describing the trend of the various components of food security, namely availability, accessibility and nutritional quality, and on the other hand at examining their main determinants. Secondary data are used for this analysis. An econometric model and some statistical tests are employed to characterize food security. Locally grown rice is hypothesized to be representative of all cereal crops. It follows from the analysis that price instability has a negative impact on food availability, but this is not the case with the Gross Domestic Product and the food production index. Food accessibility is found to be adversely influenced by price instability, economic growth, inflation rate and the food production index, albeit positively by per capita income.

## 1. Introduction

*« Dans notre enfance, nous étions surpris de voir des régimes de bananes douces laissés sur les exploitations et nous pouvions en manger gratuitement pendant que sur le marché, une dizaine voire même une quinzaine de doigts de bananes mûres étaient vendus pour 10 FCFA. [...] d'autres aliments par contre, tels que le riz, n'étaient consommés que très rarement [...] et constituaient une consommation réservée pour les fêtes de fin d'année. Aujourd'hui, la tendance est inversée, le riz, jadis de luxe, est consommé presque quotidiennement par les plus pauvres » (Douya, 1988).*

Ce témoignage de Douya, qui résume l'état du système et des habitudes alimentaires en 1988, reste d'actualité aujourd'hui encore.

Il ressort en effet de l'examen des statistiques alimentaires du Cameroun, une superposition de trois phénomènes. D'abord, une baisse du taux de croissance de la production vivrière par tête, ensuite, une augmentation des importations céréalières et enfin, une augmentation de la part des céréales dans le régime alimentaire.



Le taux de croissance de la production vivrière par tête qui était en moyenne de 7,15 % dans les années 1970, a progressivement baissé, passant de 5,89 % sur la période 1980-1989 à 2,81 % sur la période 1990-1999, pour se situer à -0,17 % sur la période 2000-2007. Sur les mêmes périodes, les importations nettes<sup>1</sup> de céréales par tête se sont en moyenne accrues de 18,33 %<sup>2</sup>. Pour sa part, le coût des importations alimentaires ne cesse d'augmenter. Selon Awono et Havard (2011), les importations alimentaires, majoritairement constituées de céréales ont été multipliées par 35, passant de 14 à 490 millions de dollars de 1961 à 2007. En 2010, ces importations étaient en valeur de 487,7 milliards de FCFA (RC/MINFI, 2011).

Quant aux habitudes alimentaires, jadis différenciées par zones agro écologiques, elles subissent de plus en plus de modifications profondes. Le brassage des communautés et l'ouverture aux cultures extérieures, ont permis d'implanter significativement des denrées traditionnellement consommées dans d'autres régions et à l'extérieur du pays, telles que : le riz, le blé, etc.

S'agissant de la part des céréales dans la consommation alimentaire des camerounais, elle a sensiblement évolué entre 2000 et 2003, passant de 36,2 % à 40 %. Les céréales occupent désormais une place de choix dans le régime alimentaire des Camerounais, en termes de quantités consommées et d'apport calorifique. En effet, pour l'instant, les céréales représentent la base du régime alimentaire avec 42,1 % d'apport calorifique, devant les racines et tubercules (16,7 %), les fruits et légumes (9,5 %), et 40 % d'apport protéinique (FAO, 2011 ; RC/MINADER, 2005).

Il ressort par ailleurs de l'examen des statistiques alimentaires du Cameroun, que les indicateurs de sécurité alimentaire se dégradent dans ce pays.

Malgré l'augmentation des disponibilités alimentaires d'environ 2 % entre 1961 et 2007, le Cameroun est aujourd'hui compté parmi les pays à faible revenu et à déficit vivrier. La ration alimentaire y est de 2260 calories par habitant et par jour, ce qui est inférieur à la moyenne des pays en développement et le seuil minimal calculé par la FAO qui est de 2600 calories par habitant et par jour. L'indice global de la faim de l'IFPRI<sup>3</sup>, illustre clairement cette situation, puisqu'en 2010, avec un indice de 17,6, le Cameroun est classé parmi les pays ayant un niveau de faim grave. En 2011, la FAO a dénombré près de quatre millions deux cent mille personnes sous-alimentées dans le pays, soit un taux de sous-alimentation de 22 %.

Les statistiques ci-dessus révèlent que malgré son statut de « grenier d'Afrique centrale », le système productif camerounais et sa politique alimentaire ont subi au fil du temps, de profondes mutations qui n'ont pas été sans conséquences graves sur la sécurité alimentaire.

La prédominance des céréales dans le régime alimentaire, cumulée à l'augmentation de leurs importations et du nombre de sous alimentés, amènent à s'interroger sur les causes de l'insécurité alimentaire et sur les déterminants des différentes composantes de la sécurité alimentaire au Cameroun.

Dans la suite de cette communication, il sera présenté le concept de sécurité alimentaire ainsi que ses déterminants macroéconomiques, la méthode d'analyse et les résultats.

<sup>1</sup> Les importations nettes représentent la différence entre les importations et les exportations.

<sup>2</sup> Ces statistiques sont obtenues à partir des calculs faits sur la base des données Banque Mondiale (WDI, 2011) pour ce qui concerne la production vivrière par tête et des données FAO pour ce qui est des importations.

<sup>3</sup> L'indice global de la faim dans le monde est un indicateur développé par l'International Food Policy Research Institute (IFPRI) pour mesurer et suivre l'évolution de la faim dans le monde. Il est calculé à partir de trois indicateurs composites : la proportion de la population sous-alimentée, la prévalence de l'insuffisance pondérale infantile et le taux de mortalité infantile. D'après l'échelle établie par l'IFPRI, l'indice classe les pays sur une échelle de 0 à 100 points. 0 étant le meilleur et 100 le pire. Les valeurs inférieures à 4,9 reflètent un niveau de faim faible. Les valeurs comprises entre 5 et 9,9 reflètent un niveau de faim modéré. Celles comprises entre 10 et 19,9 correspondent à des situations graves. Entre 20 et 29,9 le niveau de faim est alarmant, et enfin les valeurs égales ou supérieures à 30 correspondent à des situations extrêmement alarmantes.

## 2. La sécurité alimentaire : un concept dynamique aux déterminants multiples

Le concept de sécurité alimentaire est apparu pour la première fois lors de la conférence mondiale sur l'alimentation de 1974, suite à la crise alimentaire mondiale provoquée par l'augmentation rapide des prix (FAO, 2010; Banque Mondiale, 2008). La définition retenue à cette occasion, est que la sécurité alimentaire consiste à « *disposer à chaque instant d'un niveau adéquat de produits de base pour satisfaire la progression de la consommation et atténuer les fluctuations de la production et des prix* » (Maxwell, 1995, cité par Kako, 2000).

À cette conception de la sécurité alimentaire essentiellement basée sur l'offre alimentaire, a succédé à la suite des travaux d'Amartya Sen (1981) sur les famines, une approche plus globale basée sur la notion de droit d'accès à l'alimentation (*entitlements approach*). La nouvelle approche accorde une place primordiale à l'accessibilité alimentaire. L'idée étant que même dans le cas où l'offre alimentaire est suffisante, certains ménages peuvent avoir un accès limité à la nourriture du fait de conditions d'échange défavorables ou d'une insuffisance de moyens.

Depuis lors, la définition de la sécurité alimentaire généralement utilisée est plus large. En effet, dans sa définition reformulée, la sécurité alimentaire est la possibilité pour chaque individu d'accéder en tout temps à une alimentation salubre et nourrissante, lui permettant d'avoir une vie saine et active. Pour Hoskins (1990), la sécurité alimentaire est définie comme la possibilité physique et économique d'accéder pour tous et en tous temps aux produits alimentaires. Cette seconde définition est adoptée lors des travaux du sommet mondial sur l'alimentation en 1996. Ainsi, dans sa définition vulgarisée, « *la sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active* » (FAO, 1996).

Quatre dimensions sont définies dans la sécurité alimentaire : (1) disponibilité de la nourriture en quantité suffisante; (2) stabilité de l'approvisionnement; (3) accessibilité physique et économique des denrées; (4) la qualité nutritionnelle.

Il est intéressant de différencier l'état nutritionnel de la sécurité alimentaire, et de considérer que si le premier (qui est aussi une dimension du second) est surtout déterminé par l'accès aux aliments, la seconde, elle, est influencée par une série d'autres facteurs, à savoir la situation économique et sociale, la santé (physique/spirituelle/mentale), l'éducation et les préjugés culturels, etc.

Les déterminants de la sécurité alimentaire les plus cités dans la littérature sont : la production agricole, l'ouverture commerciale (importations et exportations alimentaires), la croissance démographique, les performances macroéconomiques, la stabilité politique, le pouvoir d'achat (Timmer, 2000) et l'instabilité des prix.

## 3. Méthodes d'analyse

Conformément à l'approche de la FAO (1996)<sup>4</sup> qui retient quatre dimensions pour caractériser la sécurité alimentaire, il est présenté dans l'analyse qui suit, deux modèles permettant d'identifier les déterminants de la sécurité alimentaire au Cameroun. Un modèle de disponibilité alimentaire et un modèle d'accessibilité alimentaire. En s'inscrivant dans

<sup>4</sup> Pour évaluer et surveiller la situation de la sécurité alimentaire on se sert normalement d'informations sur les disponibilités alimentaires au niveau macroéconomique et sur la structure de leur répartition parmi les ménages. Bien que leurs statistiques manquent parfois d'exactitude, les bilans alimentaires nationaux et les enquêtes sur la nutrition et/ou la consommation représentent les sources les plus immédiates de telles informations.

une logique temporelle, et en utilisant le taux de sous-alimentation comme indicateur d'inaccessibilité alimentaire, ces modèles permettent de couvrir les quatre dimensions de la sécurité alimentaire.

### 3.1. Le modèle de disponibilités alimentaires

La disponibilité des aliments en quantité suffisante est une condition nécessaire mais non suffisante à la consolidation de la sécurité alimentaire d'une nation (Sen, 1981). Le modèle de disponibilité alimentaire adoptée dans cette communication, est inspiré du modèle d'offre agricole de Rezitis et Stavropoulos (2009).

De manière formelle, on suppose que l'offre céréalière nationale, représentée par les disponibilités céréalières<sup>5</sup>, dépend des variables d'instabilité de prix et des variables macroéconomiques selon l'équation suivante:

$$y_t = \eta + \gamma p_t^e + \delta \sigma_t^2 + X_t^1 \beta \quad (1)$$

Avec  $y_t$ , les disponibilités alimentaires,  $p_t^e$ , le prix espéré des aliments,  $\sigma_t^2$ , la variance espérée,  $X_t^1$  la matrice des autres variables explicatives.

Mais avant d'implémenter notre modèle de disponibilité alimentaire, il convient d'abord, de présenter la méthode de détermination des variables d'instabilité. Nous postulons que les agents forment des anticipations rationnelles.

#### 3.1.1. Mesure de l'instabilité des prix

À la suite d'Aradhyula et Holt (1989) et Holt et Aradhyula (1990), la modélisation de type ARCH (*Auto Regressive Conditional Heteroscedasticity*), est utilisée pour mesurer l'instabilité des prix alimentaires sous l'hypothèse d'anticipations rationnelles.

Plusieurs éléments président au choix de la modélisation de type ARCH. D'une part, les modèles de la classe ARCH introduits par Engle (1982), permettent de caractériser des séries dont la variance n'est pas constante au cours du temps. En outre, ces modèles conduisent à calculer en même temps la moyenne et la variance et à estimer l'instabilité future en fonction de l'instabilité passée. Ils permettent enfin, de prendre en compte des regroupements de l'instabilité, c'est-à-dire le fait que les fortes hausses (respectivement les faibles hausses) de prix sont suivies par d'autres fortes (respectivement faibles hausses) variations de prix dont le signe n'est pas prévisible (Lardic, Mignon, 2002).

Si les prix internationaux des céréales sont représentés par un processus autorégressif uni varié d'ordre  $n$ ,  $p_t = \beta(L) p_t + \varepsilon_t$ , avec  $p_t$  le prix à la période  $t$ ,  $\beta(L)$  le polynôme retard contenant les paramètres  $(b_0, b_1, \dots, b_n)$  à estimer,  $\varepsilon_t$  un bruit blanc dont la distribution conditionnelle est  $\varepsilon_t | \Omega_{t-1} \sim N(0, \sigma_t^2)$ ,  $\sigma_t^2$  la variance conditionnelle de  $\varepsilon_t$ ,  $\Omega_{t-1}$ , l'ensemble d'information disponible à la date  $t-1$ . L'ensemble  $\Omega_{t-1}$  inclut aussi les valeurs antérieures de  $p_t$ .

Étant donné l'ensemble d'information  $\Omega_{t-1}$ , la valeur conditionnelle de  $p_t$  à la date  $t$ , anticipée par les agents à la date  $t-1$  est donnée par l'expression :

$$p_t | \Omega_{t-1} = \beta(L) = b_0 + b_1 p_{t-1} + \dots + b_n p_{t-n} \quad (2)$$

L'équation (2) ci-dessus permet de tenir compte simultanément du caractère hétéroscédastique de la variance des prix et de la rationalité des anticipations des producteurs et des importateurs. Les variables de prix et de variances espérées sont alors estimées par le système ci-dessous :

$$p_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot p_{t-i} + \varepsilon_t$$

<sup>5</sup> Les disponibilités alimentaires représentent la somme de la production nationale et des importations alimentaires nettes d'un pays.

$$\sigma^2_{\epsilon_i} = \lambda_0 + \sum_j^q = 1^{\lambda_i} \cdot \epsilon^2_{t-j} \quad (3)$$

Avec :  $\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2_{\epsilon_i})$ ,  $\lambda_0 > 0$ ,  $\lambda_i \geq 0$ ,  $j = 1, \dots, q$ ;  $i = 1, \dots, n$

Il est considéré que les prix et les variances espérées qui mesurent l'incertitude liée à l'instabilité des prix influencent négativement le niveau de disponibilités céréalières.

### 3.1.2. Autres variables explicatives du modèle

- Le PIB par tête

À la suite de Kamgnia (2011) et de Subervie (2007), nous considérons que le niveau de développement et de richesse moyen mesuré par le PIB par tête a un effet positif sur l'offre céréalière.

- L'inflation

Selon Subervie (2007), l'inflation mesurée par l'indice des prix à la consommation est supposée influencer la productivité. Si les producteurs sont réactifs et rationnels, la réponse des disponibilités céréalières à l'instabilité des prix est positive.

- La production vivrière

Mesurée par l'indice de la production vivrière (IPV), elle est censée capter la diversité du régime alimentaire. Le signe attendu de cette variable donne une information ambiguë. Un signe positif serait synonyme d'un régime alimentaire à forte composante céréalière (riz), alors qu'un signe négatif serait le signe d'un régime alimentaire orienté vers la consommation des autres produits vivriers.

- Les importations nettes

Mesurées par la différence entre les importations et les exportations, ces importations capturent le degré de dépendance du pays vis-à-vis des marchés internationaux. Il est attendu que les importations nettes influencent positivement le niveau des disponibilités alimentaires.

### 3.1.3. Méthode de correction des problèmes éventuels d'auto-corrélations et d'hétéroscédasticité

Pour tenir compte des problèmes éventuels liés à l'utilisation des variables stochastiques issues du modèle ARCH, l'estimation de notre modèle sera faite à partir de la méthode de Newey et West (1987). Cette dernière méthode permet d'obtenir les variances des coefficients corrigés du problème d'hétéroscédasticité.

### 3.1.4. Données de l'analyse

Les données utilisées dans ce travail sont obtenues des bases de données de la Banque Mondiale (IPV, PIB, IPC), de la FAO (disponibilités alimentaires, importations alimentaires nettes) et du Fonds Monétaire International (prix du riz). Toutes les variables du modèle, en dehors des indices (qui n'ont pas d'unité) sont exprimées en FCFA. Notre analyse porte sur la période 1968-2007.

## 3.2. Modèle d'accessibilité alimentaire

Le problème de la faim n'est pas seulement un problème de production insuffisante d'aliments. Même lorsque la nourriture est disponible, la sécurité alimentaire dépend de l'accessibilité aux aliments de la majorité de la population. C'est-à-dire qu'une grande partie de la population détient un pouvoir d'achat lui permettant d'acquérir les aliments (Sen, 1981).

Kamgnia (2011) a développé un modèle d'accessibilité alimentaire dans lequel l'incapacité d'accès à l'alimentation, mesurée par le taux de sous-alimentation, dépend d'un certain nombre de facteurs macro-économiques. Dans cette analyse, l'auteur qui évalue l'effet d'une hausse des prix internationaux des produits agricoles sur la sous-alimentation, a considéré un panel de

PED et un grand nombre de variables. Notre analyse se focalise sur l'accessibilité alimentaire au Cameroun. Et certaines variables du modèle de base de Kamgnia (2011), à l'instar de celles relatives au niveau de vulnérabilité du pays aux chocs extérieurs et de celle qui renseigne l'effet du choc climatique sur la production vivrière nationale, ne sont pas considérées.

Le modèle d'accessibilité alimentaire estimé est donné par :

$$\text{undernou}_i = \alpha + \beta \text{pop}_i + \delta \text{food\_prod}_i + \eta \text{price\_inst}_i + \mu \text{inf}_i + \theta \text{pib\_cap}_i + \varepsilon_i \quad (4)$$

Avec :

- *undernou* : le taux de sous-alimentation ;
- *pop* : le taux de croissance démographique ;
- *food\_prod* : l'indice de la production vivrière nationale ;
- *price\_inst* : l'instabilité des prix ;
- *inf* : le PIB par tête ;
- *pib\_cap* : le taux d'inflation mesure par l'indice des prix à la consommation ;
- $\varepsilon_i$  : un bruit blanc.

### 3.2.1. Calcul des variables du modèle

La variable dépendante du modèle estimé étant disponible sur des intervalles de temps de 3 ans, il a fallu faire des calculs afin de redimensionner nos variables explicatives.

- Le PIB par tête (*pib\_cap*)

Il mesure à la fois le niveau de développement du pays et le revenu moyen par tête. Il est attendu que *pib\_cap* affecte négativement *undernou*. Pour arrimer cette variable dont les données sont annuelles à la variable dépendante dont les données sont triennales, à partir des données de la WDI (2011), nous sommes passés par les moyennes arithmétiques simples périodiques, et utilisant la formule  $\bar{x} = \frac{1}{3} (\sum_{i=1}^3 x_i)$ .

- La production vivrière

Les mêmes calculs sont faits pour mesurer cette variable. Mesurée par l'indice de la production vivrière nationale (*food\_prod*), il est attendu que la production vivrière nationale affecte négativement *undernou*.

- Le taux de croissance démographique

En référence à la théorie malthusienne, il est attendu que *pop* affecte positivement *undernou*. À partir des données de la WDI (2011), la variable *pop* est donnée par un taux de croissance périodique sur 3 ans, en utilisant la formule  $\text{pop}_i = \frac{x_{i+2} - x_i}{x_i}$ .

- L'instabilité des prix

Il est attendu que *price\_inst* affecte positivement *undernou*. Les indices d'instabilité sont calculés à partir de l'indice des prix des céréales de la FAO. Cet indice composite intègre les prix du riz, du blé et du maïs. Nous calculons pour la variable *price\_inst* des écarts-types standards périodiques sur 3 ans, en utilisant la formule  $\text{price\_inst}_i = \sqrt{\frac{1}{3} (\sum_{i=1}^3 (x_i - \bar{x})^2)}$

avec  $\bar{x} = \frac{1}{3} (\sum_{i=1}^3 x_i)$ . Les données utilisées pour le calcul sont issues de la base FAOSTAT 2011.

## 4. Méthode d'estimation

Étant donné le faible nombre d'observations de la variable dépendante de notre modèle, il nous est impossible d'utiliser les méthodes d'estimation économétriques usuelles. Pour contourner cette difficulté, nous avons évalué l'effet marginal de chaque variable sur le taux

de sous-alimentation, en calculant les coefficients de corrélation partiels entre le taux de sous-alimentation et les variables exogènes du modèle.

## 5. Résultats

Les résultats du modèle de disponibilité alimentaire sont présentés avant ceux du modèle d'accessibilité alimentaire.

### 5.1. Statistiques descriptives sur la sécurité alimentaire au Cameroun 1968-2008

Le tableau 1 montre une grande dispersion des indicateurs de sécurité alimentaire sur la période d'étude.

**Tableau 1.** Données statistiques sur la sécurité alimentaire au Cameroun.

Variable	Période	Moyenne	Écart-type	Min	Max
Taux de sous-alimentation	1990-2007	26,45455	4,08	21	34
Disponibilités rizicoles	1968-2007	323 468,3	297 803,2	41 716,56	1 246 532
Indice de la production vivrière	1968-2007	75,4	20,79	45	115

Source : Calculs des auteurs.

Sur la période de 1990-2007, le Cameroun enregistre un taux moyen de sous-alimentation de 26,45 % (plus de  $\frac{1}{4}$  de la population) avec des années très fastes (2005-2007, avec un taux de 21 %) et des années néfastes (1995-1997), avec un taux de 34 %. Cet écart illustre les progrès faits entre 1995 et 2007 pour réduire la sous-alimentation, en dépit du fait que le nombre de personnes sous alimentées en 2007 soit encore de 3 millions 900 mille (FAO, 2011). L'écart-type de la période qui est non négligeable (écart-type = 4,08) révèle que les progrès enregistrés ont été réalisés au fil des années.

Les disponibilités rizicoles ont connu une évolution remarquable, passant de 41 716,56 tonnes en 1970 à 1 246 532 tonnes en 2006. De même, la consommation de riz par tête a sensiblement évolué. Mais pour avoir les données exactes de cette consommation, il est nécessaire d'intégrer les informations relatives à la réexportation (par la contrebande) du riz préalablement importé pour le Cameroun. Toutefois, l'augmentation des disponibilités du riz au Cameroun reste extrêmement sensible à la conjoncture.

Quant à l'indice de la production vivrière, il a augmenté malgré les fluctuations observées au cours du temps.

### 5.2. Les déterminants de la disponibilité rizicole au Cameroun

Nous avons focalisé nos analyses sur le riz. En effet, depuis plus de trois décennies, le riz est entré dans les habitudes alimentaires des Camerounais. Toutes choses égales par ailleurs, parmi toutes les céréales, c'est le produit le plus accessible (à faibles coûts) à toutes les catégories de revenus, notamment pour les ménages les plus pauvres. Cet aliment occupe la deuxième place des dépenses alimentaires des ménages camerounais. Il est un exemple de produit stockable qui remplace, dans les régimes alimentaires, les produits amylacés tels que la pomme de terre, le manioc ou les fruits comme la banane plantain (Minkoua et al., 2010). Ces considérations, et surtout des propriétés statistiques des séries de prix et de disponibilités rizicoles, justifient le choix de cette culture dans notre analyse.

Les résultats des tests de racine unitaire (Tableau 2) montrent que toutes les variables explicatives du modèle n'ont pas le même ordre d'intégration, ce qui peut causer un problème de régression fallacieuse. Pour régler ce problème, Sims et al. (1990) ont proposé d'ajouter dans le modèle avec variables à niveau, les valeurs retardées des variables non stationnaires jusqu'à ce que les résidus du modèle soient des bruits blancs. On estime alors un modèle dynamique dans lequel les variables non stationnaires sont retardées.

**Tableau 2.** Récapitulatifs des tests de racine unitaire (ADF).

series	disporiz	prixrizf	arch	ipv	piib	ipc	impornet
I(d)	I(0)	I(0)	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)	I(0)

Source : Calculs des auteurs

Le modèle que nous estimons finalement est le suivant :

$$Y_t = a_0 + a_1 \text{prixriz}_t^e + a_1 u_t^2 + a_3 \text{piib}_t + a_4 \text{ipc}_{t-1} + a_5 \text{ipv}_{t-1} + a_6 \text{importnet}_{t-1} + E_t \quad (5)$$

Les résultats du tableau 3 montrent que le modèle est globalement significatif à 1 %. Les tests de spécification de Ramsey, d'autocorrélation de Breusch-Godfrey, et d'hétéroscédasticité de White permettent de confirmer la robustesse de ces résultats.

**Tableau 3.** Résultats de l'estimation de l'équation des disponibilités rizicoles.

Variable Dépendante : DISPORIZ				
	Coefficient	Écart-type	t-student	Prob.
C	-3,647531	3,914131	-0,931888	0,3584
PRIXRIZ <sup>e</sup>	-0,540660	0,287011	-1,883759	0,0687*
IMPORTNET (-1)	0,015156	0,031644	0,478951	0,6352
σ <sup>2</sup>	-1.36E-10	3,28E-11	-4,149624	0,0002**
IPV (-1)	2,607711	0,465112	5,606637	0,0000***
IPC (-1)	0,174028	0,159692	1,089772	0,2840
PIB	0,754266	0,248121	3,039912	0,0047**
Fisher	146,7307		DW	1,814731
Prob (Fisher)	0,000000***		R2 ajusté	0,958351

Méthode : Moindres carrés échantillon ajusté : 1969-2007

Newey-West HAC Standard Errors & Covariance (lagtruncation = 3)

Code de significativité : \*\*\* = 1 % \*\* = 5 % \* = 10 %

Source : Les auteurs, à partir d'EViews 6.

Ces résultats permettent également d'établir la significativité individuelle des coefficients associés aux variables d'instabilité de prix. En effet, l'élasticité prix des disponibilités rizicoles est de -0,54. Ce qui montre que sur la période d'analyse, l'instabilité des prix internationaux du riz affecte négativement le niveau des disponibilités rizicoles à l'intérieur du pays. En d'autres termes, une variation de 1 % du prix espéré du riz sur le marché international entraîne une réduction de 0,54 % du niveau des disponibilités rizicoles. Ce résultat laisse penser que du fait de leur aversion pour le risque, les producteurs et les importateurs de riz, adoptent des comportements rationnels de gestion du risque, qui aboutissent d'une part à la réduction des quantités de riz importées et d'autres parts à la baisse de la production nationale (Appelbaum, Kolhi, 1995). Ce résultat peut être préjudiciable à la sécurité alimentaire, si la diminution des disponibilités rizicoles entraîne une augmentation des prix du riz et de ses substituts sur les marchés locaux.



Comme prévu, le PIB par tête affecte positivement le niveau des disponibilités rizicoles. Au plan macroéconomique, cela pourrait signifier que le pays met à disposition des moyens nécessaires pour acquérir le riz, surtout par le commerce international (importations). Ce résultat confirme celui de Awono et Havard (2011). Toutefois, le riz étant majoritairement importé<sup>6</sup>, cette incitation des pouvoirs publics à l'accroissement des importations du riz, nuit à la production nationale dont les coûts de production restent très élevés.

Le fait que l'indice de la production vivrière soit positivement lié au niveau des disponibilités rizicoles tout au long de la période d'analyse, semble être le signe de l'ancrage du riz dans les habitudes alimentaires, qui sont elles fortement orientées vers la consommation de céréales.

### 5.3. Les déterminants de la sous-alimentation au Cameroun

Le tableau 4 montre (toutes choses égales par ailleurs) que l'instabilité des prix du riz, le taux de croissance démographique et l'indice de la production vivrière ainsi que le taux d'inflation affectent positivement le taux de sous-alimentation, alors que le PIB par tête l'affecte négativement.

**Tableau 4.** Les déterminants de la sous-alimentation au Cameroun.

Coefficient de corrélation partiel de la variable Undernour	
Variabiles	Corrélation partielle
Instabilité prix	0,3766
IPV	0,2029
IPC	0,0866
pop	0,6133
PIB	-0,5091

Source : Les auteurs, à partir des données de la FAO (2011) et de la WDI (2011).

En d'autres termes, si le PIB par tête augmente, l'accessibilité va augmenter. A contrario, l'instabilité des prix du riz, le taux de croissance démographique et le taux d'inflation pourraient affecter négativement cette accessibilité.

Plus clairement, l'instabilité des prix internationaux contribue à accroître le nombre de personnes ayant une consommation alimentaire insuffisante au sens de la FAO. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que, face à des situations d'instabilité des prix alimentaires sur les marchés, les consommateurs, généralement «Price Taker», adoptent des comportements visant à ajuster leur niveau de consommation. Plusieurs cas de figures peuvent être envisagés.

Pour certains ménages, la réduction du nombre de repas peut constituer la solution à l'instabilité du pouvoir d'achat générée par l'instabilité des prix. Dans ce cas, on peut passer de 3 à 2 repas ou plus dramatiquement de 2 à 1 repas par jour. Une deuxième classe de consommateurs peut sacrifier la qualité au profit de la quantité du repas. C'est généralement le cas des familles pauvres, ayant une progéniture relativement jeune et nombreuse, et dont le premier souci est de se sentir rassasié. Le consommateur change alors pour des produits de qualité inférieure mais dont les prix sont relativement stables, pour tenir dans son budget. Dans les deux cas de figure, la quantité de calories retirée de la consommation alimentaire prend un coup, ce qui conduit à des situations de sous-alimentation.

<sup>6</sup> Le Cameroun est un petit producteur de riz qui recourt systématiquement aux importations pour combler son déficit. Le Cameroun importe en moyenne 300 milles tonnes de riz par an (MINADER, 2008).

Les résultats obtenus dans ce travail confirment ceux de Myers (2006). Pour ce dernier, l'instabilité des prix des produits alimentaires tend à diminuer la probabilité de survie des pauvres qui ont tendance à consacrer une grande part de leur revenu à la consommation alimentaire. En effet, du fait de leur aversion pour le risque, et de leur forte préférence pour le présent, les pauvres ont tendance à choisir des paniers de biens à faible qualité nutritive, moins coûteux et plus stable, au détriment des combinaisons plus nutritives.

Le fait que l'indice de la production vivrière soit positivement lié au taux de sous-alimentation, conforte les prédictions de Sen (1981), selon lesquelles des situations d'insécurité alimentaire peuvent coexister avec une abondante production. La sous-alimentation au Cameroun n'est donc pas seulement un problème d'insuffisance de la production vivrière nationale, elle est aussi un problème d'insuffisance des moyens d'accès à une alimentation équilibrée.

## 6. Conclusion

Les analyses faites dans ce travail montrent clairement que, malgré son statut de pays agricole, le Cameroun a connu au fil du temps une augmentation persistante de l'insécurité alimentaire, qui a été révélée au monde entier à la suite des émeutes de la faim de février 2008.

Pour palier les faibles accessibilités et disponibilités du riz, le pays a opté pour le subventionnement des importations. Or, cette stratégie si elle améliore la sécurité alimentaire à court terme, n'est plus bénéfique au pays, à moyen et long terme. En effet, ces importations contribuent à évader des fonds qui pourraient être mobilisés pour développer et moderniser la riziculture nationale. En d'autres termes, à moyen et long termes, les importations, en décourageant la production nationale, peuvent devenir pernicieuses pour la sécurité alimentaire. De fait, une forte instabilité des prix des céréales importées, couplée à une insuffisance des droits d'accès à la nourriture « *entitlement* » peuvent pénaliser les populations les plus démunies et aggraver l'insécurité alimentaire.

## Bibliographie

- Appelbaum E., Kholi U., 1998. Import-Prices Uncertainty, Production Decisions and Relative Factor Shares. *Review of International Economics*, **6**(3), 345-360.
- Aradhyula V.S., Holt M., 1989. Risk Behavior and Rational Expectations in the U.S. Broiler Market. *American Journal of Agricultural Economics*, **71**(4), 892-902.
- Awono C., Havard M., 2011. *Le rôle des importations dans la consommation alimentaire au Cameroun*. GREDI Working paper 11/02.
- Banque Mondiale, 2008. *Rapport sur le Développement dans le Monde : l'Agriculture au Service du Développement*. Banque mondiale, Washington DC.
- Douya E., 1988. *De la formation et de l'évolution des prix agricoles dans l'Ouest Cameroun*. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier I, France.
- Engle R.F., 1982. Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, **50**(4), 987-1007.
- FAO, 2010. *L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde : Combattre l'insécurité alimentaire lors des crises prolongées*. FAO, Rome.
- FAO, 2011. *Annuaire statistique de la FAO 2010*. FAO, Rome.
- FAO, 1996. *La situation d'insécurité alimentaire dans le monde*. Rapport du Sommet mondial de l'Alimentation. FAO, Rome.

- Holt M.T., Aradhyula S.V., 1990. Price Risk in Supply Equations: An Application of GARCH Time-Series Models to the U.S. Broiler Market. *Southern Economic Journal*, **57**(1), 230-242.
- Hoskins M., 1990. La contribution des forêts à la sécurité alimentaire. *Unasylva*, **41**, 3-13.
- IFPRI, 2010. *Indice de la faim dans le monde*. International Food Policy Research Institute, Washington DC.
- Kako N., 2000. *L'Insécurité alimentaire en Afrique subsaharienne, le rôle des incertitudes*. L'Harmattan, Paris.
- Kamgnia D.B., 2011. Political Economy of Recent Global Food Price Shocks: Gainers, Losers and Compensatory Mechanism". *Journal of African Economies*, **20** (suppl 1), i142-i210.
- Lardic S., Mignon V., 2002. *Économétrie des Séries Temporelles Macroéconomiques et Financières*. Economica, Paris.
- MINADER (République du Cameroun), 2008. *Autosuffisance et sécurité alimentaires au Cameroun : Une analyse basée sur la flambée des prix des produits alimentaires de première nécessité*. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Yaoundé.
- MINADER, 2005. *Document de Stratégie de Développement du Secteur Rural*. Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Yaoundé.
- MINFI, 2011. *Loi des finances 2011*. Ministère des Finances, Yaoundé.
- Minkoua Nzié J.R., Temple L., Kamgnia Dia B., 2010. Les déterminants de l'instabilité du prix des produits vivriers au Cameroun. In : *4<sup>ème</sup> Journées de Recherches en Sciences Sociales, 9 et 10 décembre, Rennes, France*. [http://www.sfer.asso.fr/journees\\_de\\_recherches\\_en\\_sciences\\_sociales/4es\\_jrss\\_2010\\_rennes/actes\\_des\\_jrss\\_2010](http://www.sfer.asso.fr/journees_de_recherches_en_sciences_sociales/4es_jrss_2010_rennes/actes_des_jrss_2010)
- Myers R.J., 2006. On the costs of food price fluctuations in low-income countries. *Food Policy*, **31**, 288-301.
- Newey W.K., West K.D., 1987. A Simple, Positive Semi-Definite, Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent Covariance Matrix. *Econometrica*, **55**(3), 703-708.
- Rezitis A., Stavropoulos K.S., 2009. 'Modeling Pork Supply Response and Price Volatility: The Case of Greece. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, **41**(1), 145-162.
- Sen A., 1981. Ingredients of Famine Analysis: Availability and Entitlements. *The Quarterly Journal of Economics*, **96**(3), 433-464.
- Sims C.A., Stock J.H., Watson M.W., 1990. Inference in Linear Time Series Models with some Unit Roots'. *Econometrica*, **58**, 113-144.
- Subervie J., 2007. *La transmission de l'instabilité des prix agricoles internationaux et ses conséquences dans les pays en développement*. Thèse de Doctorat, Université d'Auvergne, Clermont- Ferrand 1, France.
- Timmer G., 2000. The Macro Dimensions of Food Security: Economic Growth, Equitable Distribution, and Food Price Stability. *Food Policy*, **25**, 283-295.
- WDI, 2011. *World Development Indicators 2011*. The World Bank, Washington DC.



## Pro-poor agricultural development? Linkages between cash crops and food crops – Evidence from Ivory Coast and Cameroon

Voss Anneke, GIZ (German agency for international cooperation), E-mail: anneke.voos@giz.de

Kachelriess-Matthess Stefan, GIZ

Peltzer Roger, DEG

Toure Yacouba, Ivoire Coton

Bognan Patrice Amon, Ivoire Coton

Sadou Fernand, Sodecoton

### 1. Introduction

Agriculture in Sub Saharan Africa (SSA) is characterized as a semi-subsistence, low-input and low-productivity farming system (Jayne et al., 2004). The majority of African people farm on small plots of land of less than two hectares in size and plan their output primarily for their own subsistence (Todaro, Smith, 2011; Rauch, 2011). The established agricultural system of shifting cultivation worked well to meet subsistence food requirement as long as the population size remained relatively stable (Todaro, Smith, 2011). Nowadays population growth, migration, and wars are changing the geographic distribution of the population and are putting pressure on the traditional slash-and burn agricultural practices (Demont, Stessens, 2009). The majority of African countries depend on food imports, as they were not able to expand their food production at the same path as population growth and thus hunger and malnutrition are widespread (Rauch, 2011).

Whereas South Asia was able to increase its yields by more than 50% and poverty declined by 30% since the mid 1980-s, these figures remained more or less unchanged in SSA (World Bank, 2007). While South Asia increased 80% of its cereal production by increasing yields, SSA's production augmentation can be largely explained by an area enlargement no longer applicable as most of the high-potential farmland is under cultivation (Kydd et al., 2004; Govereh, Jayne, 2003). In addition the expansion was accompanied by a slight fall in fertiliser consumption because of an increase of input prices due to a removal of subsidies and exchange rates devaluation (Kydd et al., 2004; Poulton et al., 1998). The lack of fertiliser, increasing population growth, shorter fallows and the expansion to more fragile land leads to today's problem of soil degradation. This decline in soil fertility explains a large part of Africa's low yields (World Bank, 2007). The described poor agricultural performance is among many reasons one explanatory factor for the high levels of poverty in SSA and its disappointing performance in economic growth (Kydd et al., 2004). Africa has to raise the productivity of the agricultural sector, in particular raise food crop yields which play a crucial role for poverty alleviation, by financially and sustainably intensify the existing cropland (Govereh et al., 1999; Jayne et al., 2004).

Implementing policies that address the rural economic development by enhancing smallholders' agricultural productivity have proven to be a particularly successful strategy for poverty reduction and economic growth. Asian countries, like China, Malaysia and Thailand, all followed strategies to intensify smallholder-based agriculture which increased their productivity and resulted in poverty reduction today known as the Green Revolution (Hazell et al., 2007; Resnick, Birner, 2010). Smallholders are particularly important due to two reasons: one is efficiency due to the inverse relationship between farm size and production

per unit of land. The other one is equity and poverty as small farms are mostly operated by poor people using family or rural labour. They also have more favourable expenditure patterns for promoting growth in the local nonfarm economy (Hazell et al., 2007). However they face higher unit transaction costs in almost all non-labour transactions including input markets and credit services. Therefore they are relatively more constrained adopting new technological innovations like mechanization, hybrid seeds and biotechnology compared with larger farmers (Gebremedhin et al., 2009, Barrett et al., 2010). Cash cropping arrangements, including extension services and interlocking input-credits can lower these transaction cost barriers that are a hurdle for small farmers (Demont, Stessens, 2009). Especially under poorly functioning credit and input markets they might represent one potential way to intensify smallholder's crop production and enhance the overall farm productivity.

This paper will investigate the possible linkages between cash and food crops. It will do so by looking into the cash crop promotion schemes of two African cotton companies in Ivory Coast and Cameroon and analyse their impact on food crop production due to the supply of fertiliser. The paper is structured as follows: First it will give a short explanation of interlocking arrangements to then discuss the existing literature on the relationship between cash and food crops. Then it will explain the methodology of the research conducted and explain the particular cash crop schemes of the two countries. Afterwards the results of the research will be discussed and concluded.

## 2. Interlocked-input credits

Interlocked transactions are a form of contract between a commission agent or marketing company and a farmer. The company provides the farmer with seasonal inputs on credit, using his expected harvest of the crop as a collateral substitute to guarantee loan repayment. It can do this because it possesses some knowledge over the farmer's production activities, often due to extension services, or can exercise some power over the farmer's harvest. The farmer commits himself to sell the harvest to that company and the loan will be settled with the crop sale. The credit limit is typically set by the marketing firm using the farmers post harvest value and the credit is paid back at the end of the season at harvest time. Therewith the previous year's price of the crop is positively associated with the maximum credit limit and the possibility to receive credit in the current year (Jayne et al., 2004; Dorward et al., 1998).

Interlocked transactions are mutually benefiting both parties of the contract as they lower transactions costs. The trader guarantees himself a certain market output and reduces searching costs for farmers willing to sell at the end of the season. The farmer on the other hand obtains access to credit for inputs he could otherwise not obtain on the particular contract conditions or not at all from other sources. Only a small minority of peasants have sufficient savings to buy suitable quantities at the start of the growing season and the majority require credits in order to purchase the needed inputs (Poulton et al., 1998; Dorward et al., 1998). The financial sector is often not willing to lend to small farmers as the business is seen to be too risky. This is because property rights are unambiguously allocated to farmers so that land is mostly not adequate to serve as collateral and farmers lack other assets being acceptable to lenders. Besides there is a lack of crop insurances that could secure the volatile end-of season harvest to the financial institution. In addition high covariance of yield risks, one bad season will adversely affect all farmers in the area, and because of information costs within one locality such insurances do not develop. Also agricultural loans are characterised by seasonality and synchronicity, meaning that in a given rural area most loans will be required at the same time mostly at the beginning of the cropping season when depositors also wish to withdraw their deposits (Dorward et al., 1998). Thus the cash crop marketing companies in a way facilitate a rural financial market with their interlocked-input credits (Demont, Stessens, 2009). In addition cash crop production tied

to interlinked transactions and service provision has proven to be quite successful to generate income for millions of farmers (Hounkonnou et al., 2012).

Why are such extension services and interlocked-input credits not provided for food crops as well? Commercialisation programs for food crops have seldom been established due to the characteristics of food crops and their market structure. Food crops can be stored and processed on the farm itself for longer periods than cash crops posing greater difficulties for the company to ensure delivery (Govere et al., 1999). Additionally the number of potential buyers is so large that coordination and cooperation among the purchasers breaks down. Hence recovering loans and up-front service costs becomes extremely difficult. In Kenya for example cash crop marketing firms accounted for 83% of the agricultural input loans provided to small producers in contrast to 3% of input loans for food crops by a parastatal finance corporation (Jayne et al., 2004).

However, if these interlocking schemes are not designed properly several problems can occur. Opportunistic producers may decide to use the inputs for their food crops or sell them to other farmers, or their harvest to other trades. The problem of side-usage of inputs is worse for fertilizers, as alternative uses and demand is greater than for pesticides and herbicides. This diversion of inputs leads to a lower cash crop yield than expected and calculated by the cash crop marketing firm and farmers typically risk being black listed by the company and not allowed credit in the next season (Jayne et al., 2004; Dorward et al., 1998). The problem can be overcome by cooperation and coordination among the buyers.. The problem of side-usage can be solved by additionally providing input credit for food crops, which is part of some interlinked credit programs. Cash crop companies that can limit the incentive to breach the interlocking arrangement are more successful in establishing synergies between cash crops and food crops (Govere et al., 1999; Jayne et al., 2004).

### 3. Linkages between cash crops and food crops

In 1989, Maxwell and Fernando tried to give a first and so far only comprehensive overview over the “cash crop versus food crop debate”. The proponents say that cash cropping will contribute towards growth and employments whereas the opponents say that it will have negative drawbacks on food security concerning the distribution and dependency on food imports. Maxwell and Fernando concluded that both extreme positions are flawed and that the “food first” lobby denies the positive effects for sustainable growth and the “cash crop” lobby the short term negative effects for distribution, nutrition and the environment (Maxwell, Fernando, 1989).

The comparative advantage literature says that the increased income, due to cash crop cultivation, will relax the household’s budget constrained and thus increase the allocation of food purchases. This theoretical assumption might be flawed as a study of tobacco liberalization in Malawi shows, because the theory assumes that households will change their expenditure and consumption behaviour. The study of 410 households affirms that tobacco households had higher income than their non-cash crop counterparties and with increasing tobacco income the value of food purchase increases. But their per capita calorie intake was lower compared to the food crop households. Either cash crop households spend the additional income on foods with relative low caloric content or cash crop revenue influences the budget constraint in a different way than theory assumes. Cash crop revenue is a lump-sum income tying up farm household’s resources over much of the cropping season and coming with a considerable time lag after harvest. Household’s ability to smoothen consumption is therewith hampered and the income is more likely used to buy durable consumption or make investments rather than spend it on additional alimentation (Masanjala, 2006). Furthermore, it is mostly male headed households



controlling the additional cash income, who are more likely to use it for non-food items rather than food purchases. Moreover peasant households are not used to save such relatively large sums of cash and efficient saving measurements especially in rural areas do not exist. Therefore households find it difficult to stretch or save the income to purchase food in the future (Kiriti, Tisdell, 2003).

The direct positive income effect might be questioned though the increased income can have an indirect impact on food security. Under the prevalence of poorly functioning credit markets cash crop income is a vital source to accumulate capital to purchase productivity-enhancing farm assets such as oxen, animal traction equipment or draught power (Govereh, Jayne, 2003; Dorward et al., 1998). Agricultural mechanisation contributes to food crop production in two ways. On the one hand it relaxes the labour and land constraint allowing for an area expansion. On the other hand it can improve yields because of on-time land preparation, planting, and weeding (Govereh, Jayne, 2003). In addition cash crops are generally accompanied by the use of improved technologies, such as hoes and seeders that allow the household to expand its cultivatable frontier (Goetz, 1993). Demont and Stessens (2009) found that farmers often first had to adopt the cash crop, in order to generate sufficient financial resources, before they adopted animal traction (Demont, Stessens, 2009). In a study of cotton farmers in Zimbabwe, peasants not growing that cash crop had less than half the draft equipment and other physical assets as the rest of the sub-sample of animal tillage users, the cotton producers (Govereh et al., 1999).

Moreover, a viable and sustainable cash crop marketing arrangement can intensify food crop production by establishing an access to inputs. This condition is even stronger under constraint access to farm credit or limited working capital (Govereh, Jayne 2003; Govereh et al., 1999). Therewith the absence of credit and input markets in rural areas can make the decision to grow cash crops non-separable from the demand of inputs for food crops (Govereh et al., 1999). Cash cropping is positively associated by higher input use not only on the cash crops, but also on food crops. Jayne et al. (2004) found out that for the entire sample of their studied farmers in Kenya, the fertiliser nutrient use on their food crops increased by 45% over three years. They further show that farmers participating in interlinked-input credits apply 81% more fertiliser per acre on cereals than similar households not receiving input-credit. This additional application of fertiliser on food crops by the participating households does not necessarily represent a diversion of inputs from cash crops. The participating households also applied more fertiliser on their cash crops than their counterparts as they also received inputs for their food crops (Jayne et al., 2004).

Even if cash crop schemes are designed in a way that food crops do not directly benefit they have a positive effect on food crops because cash crop production is usually accompanied by crop rotation. The food harvest indirectly benefits from the cash crops residual fertiliser in the soil. As an example, maize is often cultivated after an export crop as it responds well to the remaining fertilisers (Demont, Stessens, 2009; Govereh et al., 1999; Govereh, Jayne, 2003; Dorward et al., 1998). Thus cash crop households tend to have higher grain yields than non-cash crop households, but because they devote relatively less land to food crops the amount of grain produced is about the same. This shows that cash crops are grown at the expense of food crops. In a study of cotton producers in Zimbabwe about 60% of the non-cotton producers were self-sufficient as opposed to 41% of households predominantly producing cotton. The same study shows that cotton households have a higher per capita income allowing them theoretically to buy residual food from local markets (Govereh, Jayne, 2003).

As indicated cash crops compete with food crops for scarce land and as the area under cash crop cultivation increases this might jeopardise households' food security especially under food market failure (Jayne et al., 2004). Another concern is that with increasing cash crop production rural households produce less food and local demand might raise, causing a

rise in food prices. As poor households spend a higher percentage of total income for food this might have a negative impact on them (Kiriti, Tisdell, 2003). One argument against these concerns might be that Govereh and Jayne showed in their study that non-cotton households had a greater share of fallow land than cotton households as cash cropping is associated with higher farm mechanisation allowing to cultivate a larger area (Govereh, Jayne, 2003).

## 4. Methodology

The paper was written in collaboration with the cotton project *Competitive African Cotton Initiative* (COMPACI). COMPACI is an African-wide cotton project, implemented in eight African countries including Ivory Coast and Cameroon, aiming to enhance the agricultural productivity of cotton farmers in these countries. The two cotton companies being of interest for that study, namely Ivoire Coton in Ivory Coast and Sodecoton in Cameroon, are taking part in that cotton project.

The paper is based on a qualitative data analysis for which semi-structured interviews were held with employees of the cotton companies and cotton farmers in the beginning of 2012. Therefore information of the latest agricultural campaign 2012/2013 is not available for that study. This method was chosen to allow for a, as far as possible, free flow of conversation. Furthermore it allowed the interviewer to ask ad-hoc questions and respond to topics that were not anticipated. The author predominantly tried to formulate open-end questions to allow the interviewee to express himself in his own words. However the author was also interested in some quantitative data and therefore also used closed questions. A total of eleven interviews were held over a period of two weeks, two interviews respectively with employees of the cotton companies and three group interviews in Côte d'Ivoire and four group interviews in Cameroon with cotton farmers. All interviews were expert interviews and the paper refers to the definition of Gläser and Laudel (2010) according to which an expert is someone who commands in the specific role as the interviewee of in-depth knowledge that is important to answer the study question. The interviewing language was French; though for the farmer interviews the author needed a translator as most of the farmers do not speak French, but their local language. All interviews were recorded using a voice recorder and afterwards transcribed. To analyse the data the author used the qualitative content analysis. Therefore categories and sub-categories corresponding to the study question of this paper were formulated. Then the interviews were screened according to these categories. Most of the sub-categories and some main categories emerged during the actual screening process itself. Sentences or text passages were extracted and allocated to one category.

## 5. The interlocked-input credit scheme of Ivoire Coton

Ivoire Coton was created in 1998 after the partial privatization of the cotton sector being part of the structural adjustment process induced by the World Bank. In 2000, the whole sector was deregulated which amongst others allowed the installation of new factories from outside operators. The deregulation occurred as planned, but due to a change of the business environment, e.g. producer organizations claimed more power, the coup d'état and the division of the country, full privatization has not been carried out yet. In Ivory Coast, cotton is mainly produced in the North of the country, where Ivoire Coton is also operating. During the production peak in the beginning of the 21st century, cotton was the main economic engine in the rural North, being a direct source of livelihood for about 180,000 producers and

<sup>1</sup> For more information about the project, please refer to <http://www.compaci.org/index.php/fr/>

about 2.5 million inhabitants (Gergely, 2010). Since then it is losing its importance relative to other agricultural products, especially cashew nuts. This is due to the political instability of the country and the de-facto isolation of the North after the division of the country in 2002, which increased production costs and disrupted the new organisation of the sector (World Bank, 2012). As of today there exist seven different operators involved in the cotton business. Two stable and vertically integrated private cotton companies (Ivoire Coton and OLAM) are holding a natural area of influence, one without a geographically defined area, an umbrella producer organization, and three other operators facing financial and operational problems.

Ivoire Coton is working in the North West of Ivory Coast and has its headquarter in Abidjan. In the campaign 2011/12 a cotton farmer had an average cotton yield of 919 kg/ha (Table 1). About 41% of his total farm land is under cotton and 59% under food crop cultivation. He got paid 265 FCFA/kg for cotton of first choice quality which is an increase of 26% compared to the previous campaign. This price increase might explain that in 2011/12 Ivoire Coton had one quarter more cotton farmers under contract than the year before. The cotton company recommends applying 200 kg of NPK and 50 kg of urea on one hectare of cotton. The fertiliser price in the campaign 2011/12 was subsidized with 25% by the government, explaining the prize drop of the inputs.

**Table 1.** Ivoire Coton basic facts.

Basic facts	Campaign 2010/11	Campaign 2011/12
Cotton farmers	29,212	36,577
Area under cotton cultivation (ha)	89,596	103,396
Average cotton area per farmer (ha)	3.1	2.8
Average food crop area per farmer (ha)		4.0
Cotton yield (kg/ha)	881	919
Cotton price 1 <sup>st</sup> choice (CFA/kg)	210	265
Cotton price 2 <sup>nd</sup> choice (CFA/kg)	180	240
Fertiliser price NPK (CFA/kg)	285	262.5
Fertiliser price urea (CFA/kg)	260	240
Fertiliser recommendation per cotton hectare		200 kg NPK, 50kg urea

Source: Authors' own compilation based on Ivoire Coton's *Rapport du projet COMPACI* période du 1<sup>er</sup> Avril 2011 au 30 Septembre 2011.

Contract farmers of Ivoire Coton can obtain interlocked-input credits for their cotton and food crops, and can also be granted a loan for cattle<sup>2</sup>. The inputs are fertilisers, pesticides and herbicides specific to cotton, maize and rice. Ivoire Coton sells them to the farmers at wholesale price adding transportation costs, but neither includes a margin nor takes an interest rate. They inherited this credit scheme in 1998 from the former state-owned company and maintained it since then. From the cotton campaign 2006/07 onwards until 2008/09 Ivoire Coton suffered from a high decrease of cotton farmers and an increase of outstanding debts, like several other companies in West and Central Africa. Risking bankruptcy the company changed their previous group lending system to one of individual lending. It now calculates an individual debt ratio for each farmer. This individual debt ratio is fixed at a maximum threshold of 70% for all credits in one campaign, including the ones for oxen, and cotton and food crop inputs. It is calculated by the agricultural advisors based on the farmer's previous and current expected cotton yield. This new measurement has resulted in higher per unit administration costs and more work load for especially the agricultural advisors, but helped to lower the outstanding debts. The extension service advises each farmer, based on their possible debt ratio, how much

<sup>2</sup> Ivoire Coton and Sodecoton also supply their farmers with agricultural equipment via interlocked credits, which are not of further interest of this study.

inputs one should obtain for the upcoming cotton campaign. The management board of the cooperative has to agree to the input distribution based on these calculations. The input-credit for the food crops is paid back at the end of the campaign with the cotton harvest. The credit threshold might be altered due to current cotton and input prices, but must never exceed the 70%.

Ivoire Coton decided on that measure due to several reasons. One reason was that they had the impression that farmers tend to obtain too many inputs. This in turn led to excessive debts and farmers valued cultivating cotton no longer as a good business activity. Another problem was and still is the side-selling of cotton inputs on the black market which adds to the problem of farmers' over-indebtedness. This is due to two reasons: first, cotton acreages do not get the scheduled amount of inputs resulting in a lower expected yield. Secondly, farmers sell the inputs at lower prices than the purchase price of the input. The personal debt ratio shall help to prevent debt overloading and assist the cooperatives to better control their finances. The cotton company also hopes to hinder side-selling on the black market by restraining the input supply. That 70% threshold was chosen to allow the farmer obtaining the required amount of inputs on credit for the area under cotton cultivation, and allow him obtaining a certain amount of inputs for his food crops. If they would have limited the ratio at lower levels farmers might not been able to acquire inputs for their food crops any longer or even the required amount for their cotton production. As the ratio must never exceed the 70% it can happen that if cotton prices were relatively low and input prices relatively high, that farmers might not be able to obtain inputs for their food crops. Ivoire Coton is aware of that limitation. Even with today's relative favourable cotton prices and subsidized input prices not all farmers can equally benefit from the input credits.

For Ivoire Coton having the input-credits for food crops is a strategic measurement to secure their cotton production and allow to sustainably staying in business. They realized that the farmer has to feel at ease to produce cotton which means he has to secure a certain level of food crop production. Giving inputs additionally for food crops shall allow the farmer to produce more food crops and make him stay for a long time in the cotton business. And as said above they therewith hope to minimise the side-usage of cotton inputs on food crops.

## 6. The interlocked-input credit scheme of Sodecoton

In 1974, Sodecoton was created and granted a monopoly for developing cotton in the North and Extreme North, also called the "cotton belt". This belt is the poorest part of the country and represents one quarter of total population. It is isolated from major transport routes and difficultly linked to the main port of Doula and thus effectively landlocked (Gergely, 2009). Cotton is among the most important agricultural exports products together with cocoa, coffee and bananas. Sodecoton is a parastatal organisation with the majority of capital belonging to the government (59%) and the minority to a French (30%) and a local holding company (11%). It was privatized in 1994 upon pressure from the International Monetary Fund and the World Bank as part of the structural adjustment process. However the process was cancelled in 2002, following the bankruptcy of the investor and a legal dispute. The privatization is still on the government's agenda, but there is no updated schedule and attitude towards it in the government is mixed inside.

The cotton yield of an average farmer is about 1,200 kg/ha in the North and 950 kg/ha in the Extreme North (Table 2). This spread can be explained by different climate conditions and soil fertility of the two regions. The farmer dedicated about one third of their land to cotton and two thirds for food crops. In the campaign 2012/2013 farmers are paid 255 FCFA/kg for their cotton 1<sup>st</sup> choice and they pay 376 FCFA/kg for their fertiliser. The recommended amount of

fertiliser varies in the two regions, as Sodecoton does not recommend urea for the Extreme North. Fertilisers were subsidised by the government and the cooperative structure in both agricultural campaigns, however they were still more expensive than the ones for farmers in Côte d'Ivoire. In the current campaign Sodecoton excluded about 24% of their cotton producers in the Extreme North due to cotton side-selling to Nigerian buyers. Sodecoton is bigger than Ivoire Coton in terms of cotton farmers and the area under cotton cultivation. It has about four and a half times more cotton producers, though only 1.4 times greater area under cotton cultivation. The cotton farmers in Ivory Coast have bigger land holdings than the ones in Cameroon.

**Table 2.** Sodecoton basic facts.

Basic Facts	Campaign 2010/11		Campaign 2011/12	
	North	Extreme North	North	Extreme North
Cotton farmers	97,651	108,472	91,194	74,525
Area under cotton cultivation (ha)	79,636	63,277	97,822	51,066
Average cotton area per farmer (ha)	0.82	0.58	1.07	0.69
Average food crop area per farmer (ha)	1.94	1.61	2.18	1.98
Cotton yield (kg/ha)	1,157	966	1,226	905
Cotton price 1 <sup>st</sup> choice (FCFA/kg)	200		255	
Cotton price 2 <sup>nd</sup> choice (FCFA/kg)	190		245	
Fertiliser price NPK (FCFA/kg)	340		376	
Fertiliser price urea (FCFA/kg)	340		376	
Fertiliser recommendation per cotton hectare	200 kg NPK plus 50 kg urea for farmer in the North			

Source: Authors own compilation based on Sodecoton's *Rapport Campagne Agricole 2011/12*.

Sodecoton supplies their contract farmers in two ways with inputs for food crops. They can obtain them through a loan or buy them over the counter. The latter option is mostly used by farmers to buy herbicides. Fertilisers do only account for 15% of all over the counter sales. These sales are also restricted as only farmer expressing an interest of buying fertilisers this way beforehand and being associated with the cotton cooperative, are allowed to purchase inputs that way. The volume of the over the counter sales represent 7% of the total volume of inputs supplied by Sodecoton. Because of the liquidity constraints the majority of farmers face, the supply of inputs via interlocked-input credits is more important than the direct sale. Like Ivoire Coton, the Cameroonian cotton company does not charge an interest rate for their interlocked-input credits, but they sell the inputs with a little margin. This finances the management part of the cooperative structure. Similar to Ivoire Coton they also suffered from a sharp drop of farmers and cotton production, and an increase in outstanding debts. As an impact of the crisis they also altered their credit scheme, but in contrast to Ivoire Coton maintained group lending.

Sodecoton grants group loans to cooperatives which are guaranteed by themselves in two ways. First, between three to 14 producers cultivating at least five hectares of cotton form a liability group, or a big cotton farmer cultivating between six to eight hectares of cotton can form his own one. These liability groups must be recognized by the general assembly of the cooperative which will settle the debt in case of credit default. In addition a farmer has to be on the so called "blue list" to be granted input-credit. Being on that list is based on two conditions: no arrears from the last cotton campaign, and an acceptable cotton harvest. The amount of inputs one group can obtain for their food crops depends on the area under cotton cultivation. The minimum criterion is that a cotton farmer has to cultivate at least 0.5 hectare of cotton to be granted an input-credit for his food crops. The schemes details are as following: based on one hectare of cotton a cooperative having had difficulties in the past is allowed 25 kg of urea for half a hectare of sorghum, and one never experienced any problems can have 50 kg of urea for one hectare. For one hectare of cotton the cooperative is allowed inputs for half a hectare of maize, which are 50 kg of NPK and 50 kg

of urea. Only farmers in the North can get inputs for their maize. The soil in the Extreme North is not considered to be applicable for maize production. In theory, farmers in the North and Extreme North can get input credits for their sorghum, but in practice Sodecoton's food crop input credits are divided geographically<sup>3</sup> with the majority of input credit for sorghum being in the Extreme North and the majority of credit for maize inputs in the North.

In addition, they installed certain measurements that shall secure a higher payback rate as well as lower the burden on cotton by separating the input repayment for cotton and food crops. First, since the campaign 2008/09, Sodecoton is demanding a 30% advance payment for food crop inputs. This can be paid by the farmer and/or by the cooperative. Secondly, it is intended that the maize input- credit shall be paid back by maize revenue instead of cutting the credit amount from the cotton revenue as done before. As maize is a relatively input intensive crop the company installed a warehouse system, by which the farmer has to deposit two bags of maize for one bag of fertiliser as a guarantee. The warehouse system shall also allow the farmer to sell the maize not directly after the harvest, when maize supply is high and prices are low, but to store the maize and sell it at better price conditions. However the warehouse system and the separation of repayments do not work well as farmers are not willing to store their corn harvest and in most cases Sodecoton has to get back to the cotton harvest for the credit repayment.

For the 2012/13 campaign, Sodecoton wants to further modify the interlocked-input scheme. To obtain the input-credit for sorghum a farmer has to produce at least 800 kg/ha of cotton in the Extreme North and 950 kg/ha of cotton in the North. The amount of input-credit is then staggered in three stages based on the cotton yield. For the input-credit for maize the input amount will depend on whether the farmer repaid the credit with maize or cotton revenue. Despite these problems Sodecoton proceeds in giving the input credits for food crops in order to secure food security.

## 7. Results

The possibility to access inputs on a loan base is a decisive factor for some of the interviewed farmers to cultivate cotton. This becomes even more important under the absence of functioning input and credit markets. None of the interviewed peasants stated another official source than the cotton companies to obtain inputs, apart from the black market and neighbouring countries. However these alternative sources cannot satisfy demand as the fertilisers on the black market are originated from the cotton company, supplied from side-selling by contract farmers. The alternative input market sourced by neighbouring countries neither can stimulate the demand, because most farmers lack the financial resources to obtain a sufficient amount of fertiliser at the beginning of the agricultural season. The cash crop income is spent soon after harvest for mostly larger investments. The interlinked input-credit is also the most obvious aspect that creates a linkage between cash crop and food crop production as it is designed by both cotton companies to supply inputs for food crops in addition to cotton. But also without this special feature cash crop cultivation would increase smallholder's agricultural productivity. On the one hand the residual fertiliser in the cotton field also has a positive effect on food crops yields if they are grown the following year. Thus on the other hand, farmers divert fertiliser from the cotton in addition to what they obtain officially from the cotton company. Therefore the access to inputs alone, without the official part of the scheme, is already important to increase the agricultural productivity of the smallholders.

In the following the impact of the two cotton schemes on food crop production shall be assessed. Therefore the following section will derive the possible amount of fertilisers a

<sup>3</sup> Note that the calculation is made under the assumption that no farmer has had outstanding debts from the previous campaign and neglects credit for agricultural equipment and cattle. This would decrease the credit value.



farmer can obtain in the respective cotton scheme to then look into the actual food crop area that received fertiliser. For the following this and last campaigns are of interest to show how the calculations changes when prices vary.

The limiting factor for farmers of Ivoire Coton is the 70% threshold that maximises the credit value. That threshold is not binding in the campaign 2011/12 as the average farmer has the possibility to obtain the full dose of fertiliser for his food crops regardless of the cotton quality prices<sup>4</sup> (Table 3). The same can be said for the interviewed farmers. The relatively good price levels of cotton and fertiliser explain that the average debt ratio of the farmer is 40% to 45% in 2011/12 according to the regional director. However this looks differently for the average farmer in the last campaign with lower cotton and higher input prices. Here the normal farmer would not be able to get the full amount of fertiliser as it exceeds the 70% threshold by 14% or 41% depending on the cotton price. From the interviewed farmers two of them theoretically could not obtain inputs for the whole area under food crop cultivation when only paid the cotton price for second choice in the campaign 2010/11. The interviewed farmer with the smallest area under cotton cultivation (two hectares) could not access the full amount of fertiliser for his food crops in the campaign 2010/11 and two others neither if they were only paid the cotton price for second choice.

**Table 3.** Possible input credit for food crops for the average farmer of Ivoire Coton.

	Campaign 2010/11		Campaign 2011/12	
	Cotton price 1 <sup>st</sup> choice	Cotton price 2 <sup>nd</sup> choice	Cotton price 1 <sup>st</sup> choice	Cotton price 2 <sup>nd</sup> choice
Maximum input credit possible based on net cotton income (FCFA/kg)	185,514	125,769	299,569	254,107
Input costs for food crops (FCFA/kg)	213,310	213,310	183,571	183,571
Excess/Deficit	-14%	-41%	+63%	+38%

Source: Authors own compilations based on her research and data provided by Ivoire Coton.

In contrast to the Ivorian farmer it is not so much the input price, but the area under cotton cultivation determining the possible quantity of fertiliser. A farmer of Sodecoton has to produce at least half a hectare of cotton in order to be able to obtain an input-credit for his food crops. A little more than half of all farmers (56%) have the cotton area under cultivation to do so in 2011/12. Thus 46% are already excluded from taking input credit for food crops. Due to this restriction the average farmer in the North region cannot obtain fertiliser for his total maize area of 0.69 ha but only for 0.53 ha, which is a deficit of 23%<sup>5</sup> (Table 4). The deficit for the average farmer in the Extreme North is higher with 58%, as he is less diversified than the farmer in the North. Sorghum accounts for two thirds of his total area under cultivation, in contrast to one third of maize in the North. In 2010/2011, the deficit is about the same for the average farmer. Out of the four interviewed cooperatives two had a deficit of more than half the area (-56% and -58%) and two were nearly deficit free (-1% and -7%), in each case from the two regions. The input prices for food crops account for 15% to 21% in the North and 10% to 14% of the cotton income in the Extreme North for this and last campaign. The advance payment does not exceed 6% of the cotton revenue in both regions and years. However the farmers said that since the advance payment has been established, obtaining fertiliser for their food crops has become more difficult and some farmers cannot pre-finance one third of the total fertiliser amount at the beginning of the season.

<sup>4</sup> Note that the calculation is made under the assumption that no farmers has any outstanding loans and that the farmer in the North can get fertiliser for half a hectare of maize and the farmer in the Extreme North for one hectare of sorghum if cultivating cotton on one hectare.

<sup>5</sup> Note that the calculation is made under the assumption that no farmers has any outstanding loans and that the farmer in the North can get fertiliser for half a hectare of maize and the farmer in the Extreme North for one hectare of sorghum if cultivating cotton on one hectare.



**Table 4.** Possible area receiving fertilizer for the average farmer of Sodecoton.

	Campaign 2010/11		Campaign 2011/12	
	Average farmer North	Average farmer Extreme North	Average farmer North	Average farmer Extreme North
Cotton area (ha)	0.82	0.58	1.07	0.69
Actual maize/sorghum area (ha)	0.57	1.32	0.69	1.63
Allowed maize/sorghum area for fertilizer (ha)	0.41	0.58	0.53	0.69
Deficit	-29%	-56%	-23%	-58%

Source: Authors owns compilations based on her research and data provided by Sodecoton.

Table 5 shows the area under food crop cultivation that received fertiliser based on the actual amount of fertiliser supplied to the farmers. In both countries and campaign years up to one third of that area received fertiliser, depending on the cereal. These calculations show that not all farmers are benefiting from the input scheme part that supplies them with inputs for food crops. Thus the supply of fertiliser is not efficient, as also remarked by the farmers in both countries. In Ivory Coast prices are the limiting factor whereas in Cameroon it is the area under cotton cultivation. This is also visible when comparing the fertiliser area of food crops with the total area under food crop cultivation. As highlighted in table 5 the scheme of Sodecoton supplied fertiliser for about one third of the maize and sorghum area in both agricultural campaigns. As the supply is fixed to the cotton area and the conditions have not changed in the two campaigns the ratio has been quite constant. In contrast the food crop area that received fertiliser is more volatile in Ivory Coast. The low coverage in the campaign 2010/11 can be explained by relative low cotton and relative high input prices. Thus as the price constrained relaxed in the campaign 2011/12 farmers were able to fertiliser a greater area. So what is the impact of the additional fertiliser supply on the region?

**Table 5.** Food crop area that received fertiliser.

Food Crop	Area received fertiliser			
	Ivoire Coton†		Sodecoton	
	2010/11	2011/12	2010/11	2011/12
Maize	12% - 19%	24% - 34%	30%	29%
Rice	7% - 8%	14% - 16%		
Sorghum			27%	29%

Source: Authors own compilations based on her research and data provided by Ivoire Coton and Sodecoton.

† The lower bound accounts for the area that received NPK and the upper bound for the area that received urea.

Based on the results in table 5 and table 6 the additional food crop production due to fertiliser application can be calculated<sup>6</sup>. In Ivory Coast an additional 24% or 384 kg per household of maize has been produced in 2011/12 as opposed to no fertilizer application. For rice this would be an additional 14% or 107 kg per household. As the fertiliser dosage is higher for Sodecoton's farmers, so is the additional food crop production. Due to fertiliser application 259 kg per household for maize (+76%) and 130 kg per household for rice (+62%) have been additionally produced in contrast to no fertilizer application at all. According to the interviewed farmers an average household needs between 2,000 kg to 3,000 kg of cereals per year in order to well nourish the family. Thus the surplus of food crop production due to the application of fertiliser alone can secure between 16% to 25% of the yearly nutrition needs for an average cotton producing household in Ivory Coast, and between 14% to 20% for the average cotton producing household in Cameroon.

<sup>6</sup> Note that this calculation shall only give the reader an idea of the additional food crop production and that it cannot make a conclusion about the actual food intake per capita.

Therewith Ivoire Coton and Sodecoton both contribute a share to the increase of food production in the region. However it is not enough as the farmers stated that not everybody is food self-sufficient. Nevertheless the cotton scheme allows farmers to access inputs for their food crops and therewith intensifies their agricultural activities. Under the conditions of input and credit market failure the two particular cash cropping schemes are designed in a way to enhance overall agricultural productivity and therefore have a positive impact on food production.

**Table 6.** Average food crop yields with and without fertiliser application.

Yield	Ivoire Coton		Sodecoton	
	Without fertiliser	With fertiliser	Without fertiliser	With fertiliser
Maize (kg/ha)	1,200	2,400	1,000	2,600
Rice (kg/ha)	800	1,600		
Sorghum (kg/ha)			933	2,000

Source: Authors own compilation based on the interviews with farmers of Ivoire Coton and Sodecoton.

The data in the table presents the average of the farmer's statements. Just for comparison according to FAOSTAT maize yields (kg/ha) are 2,154 in Côte d'Ivoire and 2,323 in Cameroon, the rice yield (kg/ha) is 1,688 in Ivory Coast and the sorghum yield (kg/ha) is 1,268 in Cameroon.

## 8. Conclusion

As history and the recent success story of the Green Revolution in Asia shows it is inevitable for SSA to transform its agricultural sector from the one of a low-productivity, subsistence farming system towards a modern one like in industrial nations. During that continuous process it is important to tackle the productivity of smallholders and intensify their agriculture in order to allow for a pro-poor development. Cash crop schemes can be a solution for the problems facing the agricultural sector for so long, as they establish an access to seasonal finance for their cash crop producers. They allow the farmer to move from the first stage of low-productivity and mostly subsistence agriculture to the next stage of a more mixed family system with increasing productivity and production for the market.

Interlocked-input credits, that are part of the scheme, lower the transactions costs for smallholders to adopt the cash crop by supplying the farmer with inputs on credit. This mechanism becomes even more important under the absence of input and financial markets. In the research regions of Côte d'Ivoire and Cameroon the cotton companies are the only source for farmers to access inputs with the possibility of pre-financing. The smallholders have limited working capital and savings, and as there are no financial institutions supplying them with a credit. The two schemes focus on smallholders and thus agricultural development can be pro-poor as they demonstrate.

Furthermore the two schemes are designed in a way that they not only increase the smallholder's cash crop productivity. Cotton farmers have the possibility to obtain fertiliser for their food crops through the interlocking arrangement and therewith increase their food crop production. The fertilisers applied on cotton fields have also an indirect effect on food crops due to crop rotation and residual nutrients in the soil. Therefore the paper concludes that a linkage between cash crop production and food crop production exists. In the light of stagnant cereal yields this feature of the scheme is notably important. Nevertheless the design of the two schemes does not allow all farmers to access the needed amount to fully fertilise their food crop area under cultivation. In Ivory Coast and Cameroon up to one third of the total area under food crop production received fertilisers in this and last agricultural campaign. Both schemes are designed to support and promote cotton. The aim for them is to secure that cultivating the "white gold" remains profitable not only for them, but also for smallholders.

Without neglecting the contribution of the two cotton companies to the region's food security, the thesis shows that cash cropping schemes contribute to the intensification of agriculture, but cannot entirely solve the problem of low-productivity. Further research is needed to study what mechanisms create the strongest linkages between cash crops and food crops and how cash crop promotion schemes could be exploited by the government to increase food crop production. In addition another study question could be which programmes components have best worked to establish this particular linkage in Africa.

## Bibliography

- Barrett C.B., Carter M.R., Timmer C.P., 2010. A Century-Long Perspective on Agricultural Development. *American Journal of Agricultural Economics*, **92**(2), 447-468.
- Demont M., Stessens J., 2009. Food versus Cash: Development Theory and Reality in Northern Côte d'Ivoire. *Review of Business and Economics*, **54**(3), 258-272.
- Dorward A., Kydd J., Poulton C., 1998. *Smallholder Cash Crop Production under Market Liberalisation*. CAB International, New York.
- Gebremedhin B., Jaleta M., Hoekstra D., 2009. Smallholders, institutional services, and commercial transformation in Ethiopia. *Agricultural Economics*, **40** (Issue Supplement s1), 773-787.
- Gergely N., 2009. *Comparative Analysis of Organization and Performance of African Cotton Sectors: The Cotton Sector of Cameroon*. World Bank, Washington DC. Africa Region Working Paper Series 126.
- Gergely N., 2010. *Comparative Analysis of Organization and Performance of African Cotton Sectors: The Cotton Sector of Côte d'Ivoire*. World Bank, Washington DC. Africa Region Working Paper Series, 130 (a).
- Gläser J., Laudel G., 2010. *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse*. 4<sup>th</sup> edition. UTB für Wissenschaft, Wiesbaden, Germany.
- Goetz S.J., 1993. Interlinked Markets and the Cash-Crop – Food Crop Debate in Land-Abundant Tropical Agriculture. *Economic Development and Cultural Change*, **41**(2), 343-361.
- Govere J., Jayne T.S., 2003. Cash cropping and food crop productivity: synergies or trade-offs? *Agricultural Economics*, **28**(1), 39-50.
- Govere J., Jayne T.S., Nyoro J., 1999. *Smallholder Commercialization, Interlinked Markets and Food Crop Productivity: Cross-Country Evidence in Eastern and Southern Africa*. Department of Agricultural Economy and the Department of Economy, Michigan State University, East Lansing, MI, USA.
- Hazell P., Poulton C., Wiggins S., Dorward A., 2007. *The Future of Small Farms for Poverty Reduction and Growth*. International Food Policy Research Institute, Washington DC. 2020 Discussion Paper 42.
- Hounkonnou D. et al., 2012. An innovation systems approach to institutional change: Smallholder development in West Africa. *Agricultural Systems*, **108**, 74-83.
- Jayne T.S., Yamano T., Nyoro J., 2004. Interlinked Credit and Farm Intensification: Evidence from Kenya. *Agricultural Economics*, **31**(2), 209-218.
- Kiriti T., Tisdell C.A., 2003. Commercialisation of agriculture in Kenya: case study of policy bias and food purchases by farm households. *Quarterly Journal of International Agriculture*, **42**(4), 439-457.
- Kydd J., Dorward A., Morrison J., Cadisch G., 2004. Agricultural Development and Pro-poor Economic Growth in Sub-Saharan Africa: Potential and Policy. *Oxford Development Studies*, **23**(1), 37-57.
- Masanjala W.H., 2006. Cash Crop Liberalization and Poverty Alleviation in Africa: Evidence from Malawi. *Agricultural Economics*, **35**(2), 231-240.

- Maxwell S., Fernando A., 1989. Cash Crops in Developing Countries: The Issues, the Facts, the Policies. *World Development*, **17**(11), 1677-1708.
- Poulton C., Dorward A., Kydd J., 1998. The Revival of Smallholder Cash Crops in Africa: Public and Private Roles in the Provision of Finance. *Journal of International Development*, **10**(1), 85-103.
- Rauch T., 2011. Fundamentals of African Agriculture. *Quarterly Journal of International Agriculture*, **50**(1), 9-27.
- Resnick D., Birner R., 2010. Agricultural Strategy Development in West Africa: The False Promise of Participation? *Development Policy Review*, **28**(1), 97-115.
- Todaro M.P., Smith S.C., 2011. *Economic Development*. 11<sup>th</sup> edition. Addison-Wesley, Harlow, UK.
- World Bank, 2007. *World Development Report 2008: Agriculture for Development*. The World Bank, Washington DC.
- World Bank, 2012. *Côte d'Ivoire. The Growth Agenda: Building on Natural Resources and Exports*. The World Bank, Washington DC. Report N° 62572-CI.

## Quand la crise alimentaire de 2008 réhabilite l'action publique en agriculture : illustrations à partir de l'expérience du Bénin

Kpadé Cokou Patrice, Université d'Abomey-Calavi, École Nationale Supérieure des Sciences et Techniques Agronomiques de Kétou, E-mail : kpadepatrice1@hotmail.com

### Résumé

L'objet de cet article est d'analyser l'efficacité de la politique de relance de l'offre agricole locale du Bénin à partir des dépenses publiques d'investissements agricoles de l'État et des Partenaires Techniques et Financiers suite à la crise alimentaire de 2008, la nature des investissements réalisés et les effets induits sur la production du maïs et du riz, deux céréales substituables de grande consommation au Bénin. Sur la base d'indicateurs macroéconomiques de 2006 à 2012 et de comparaisons temporelles, nos résultats indiquent un retour de l'action publique avec des financements importants dans des domaines structurants. L'action publique mise en œuvre a généré des résultats positifs notamment pour le riz, ce qui prouve qu'elle doit être encouragée au lieu d'être restreinte. Elle a permis de réguler la crise alimentaire dans le court terme, mais de par son intensité, elle s'inscrit dans le long terme et règle relativement la question agricole.

### Food crisis of 2008 rehabilitate agricultural policies: illustration from Benin

The purpose of this paper is to analyze the policy effectiveness for boosting local agricultural supply in Benin from Government and Donors expenditures, after the 2008 food crisis, the nature of investments and induced effects on maize and rice productions, two substitutable cereals widely consumed in Benin. Based on macroeconomic indicators from 2006 to 2012 and temporal comparisons, our results indicate a return of public intervention through significant funding in structural areas. The public intervention had positive effects particularly for rice, which should be encouraged public action instead of be reduced. The public policy implementation has helped to regulate the food crisis in the short term, but with its intensity, it is in the long term and solves well the agricultural issue.

## 1. Introduction

Au Bénin, l'agriculture reste un des moteurs de l'économie avec une contribution moyenne à la croissance économique de 1,4% entre 2006 et 2012. Elle emploie annuellement 70% d'actifs qui en dépendent pour leurs revenus. Toutes les politiques économiques mises en œuvre depuis plus de quarante ans ont visé à renforcer cette contribution agricole au développement économique du Bénin. Le poids économique de l'agriculture fait d'elle, un secteur d'intervention prioritaire pour l'État et les Partenaires Techniques et Financiers (PTF) (World Bank, 2008). Le volontarisme affiché du nouveau régime politique en 2006, à travers l'élaboration du plan stratégique de relance du secteur agricole, devrait davantage renforcer le rôle moteur de l'agriculture et favoriser l'offre agricole locale.

En Afrique où les pays sont preneurs de prix mondiaux des produits agricoles, la crise alimentaire de 2008 indique que les besoins alimentaires des populations ne sont pas satisfaits pour diverses raisons : quantité, prix, revenu, démographie, allocation de terre pour la production de biogaz (CNUCED, 2008; Rosset, 2008; Mittal, 2009; Abbott et al., 2011; Dia Kamgnia, 2013). L'une des manifestations tangibles de la crise a été la hausse généralisée des prix des produits alimentaires avec en corollaire des difficultés d'accès aux denrées de grande consommation : riz, maïs, blé, sucre, lait, soja, etc. (Rosset, 2008; Mittal, 2009; Abbott et al., 2011; Headey, 2011; Bouët,

Laborde Debucquet, 2012 ; Gbétoenonmon, 2012 ; Peeters, Albers, 2013). Les pays africains étant différemment exposés, les réactions à cette crise ont été de divers ordres, allant de l'accroissement des importations des produits alimentaires, la mise en place de boutiques témoins pour vendre des produits à prix subventionnés jusqu'à l'accompagnement aux structures productives locales (CNUCED, 2008 ; Rosset, 2008 ; Mittal, 2009 ; Peeters, Albers, 2013). En réponse à la crise alimentaire de 2008, des actions structurelles ont été menées avec l'implication d'organisations communautaires (CEDEAO, UEMOA, CILSS, Club du Sahel, Oxfam, etc.) aussi bien au niveau régional qu'au niveau national pour accroître les capacités d'offre locale et réduire la dépendance vis-à-vis du marché (Gbétoenonmon, 2012). Ainsi, les actions qui en ont découlé dans les pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre indiquent une capacité de réaction à court terme mais interrogent sur leur coordination, leur efficacité et leur durabilité. Au Bénin, les pouvoirs publics et les PTF ont très tôt pris conscience des enjeux et conséquences fâcheuses qui surgiraient de cette crise. Les prix des produits agricoles restent encore élevés au Bénin en raison de la faiblesse de l'offre agricole locale expliquée par l'insuffisance de progrès techniques et la pression démographique (Mundlak, 2000). L'alimentation absorbe une part importante des dépenses des ménages dans les pays en développement. Le marché alimentaire est très sensible en raison du rôle unique des aliments et la nature des demandes des consommateurs (Mundlak, 2000 ; Abbott et al., 2011 ; Bouët, Laborde Debucquet, 2012). En conséquence, une hausse des prix des produits agricoles peut avoir des effets graves (Abbott et al., 2011 ; Headey, 2011 ; Bouët, Laborde Debucquet, 2012). Des actions s'inscrivant, non pas seulement dans le court terme mais surtout dans le long terme ont été entreprises à la fois par l'État et les PTF pour corriger la défaillance de l'offre agricole.

Cette intervention publique dans le secteur et le marché agricole rompt avec la restriction de l'action publique dans les sphères marchandes comme la production, la distribution, la transformation et la commercialisation des produits agricoles telle que recommandée par les institutions de Bretton Woods avec les politiques d'ajustements structurels (PAS) des années 1980 (Stiglitz, 2002 ; Dieng, 2006). Il résultait des PAS, une forte réduction des dépenses publiques dans les secteurs économiques, notamment dans l'agriculture qui occupait une place centrale afin d'assainir les finances publiques et réduire les dettes publiques (Dieng, 2006). Dès lors, le financement des services agricoles apporté par les États ou les producteurs locaux dans les pays en développement est souvent limité. Le financement provient en majorité des projets de développement financés par les PTF (Moumouni, 2013). Généralement, les financements publics extérieurs vont vers les cultures marchandes orientées vers l'exportation comme le coton au Bénin (Moumouni, 2013). Jusqu'en 2008 au Bénin, peu d'attention était accordée aux cultures vivrières comme le maïs ou le riz.

La théorie ricardienne des avantages comparatifs met en évidence le rôle très limité de l'État. Les politiques d'ajustement structurels mises en œuvre durant les années 1980, avec un pouvoir d'action limité de l'État a montré des résultats mitigés (Stiglitz, 2002). Les accords commerciaux sur les produits agricoles insistent aussi sur le rôle limité de l'État, laissant le jeu libre au marché. Les analyses en termes d'instabilité des prix agricoles pour expliquer les crises alimentaires successives mettent en évidence la complexité des facteurs en jeu, appelant à une meilleure régulation des marchés, à des actions structurantes de l'État dans la production, l'accès aux facteurs de production et équipements agricoles (Lin 2008 ; Courleux, 2009 ; Galtier, 2009 ; Von Braun, Torero 2009 ; Jouyet et al., 2010 ; Maître d'Hôtel et al., 2011 ; Dia Kamgnia, 2013).

Compte tenu de la structure des marchés agricoles dans les pays en développement, du caractère risqué et de la loi des rendements d'échelle non croissants à long terme en agriculture, cet article tente de montrer que l'action publique, au lieu d'être restreinte, est nécessaire pour développer durablement les productions vivrières de grande consommation. L'efficacité et la durabilité de cette action publique dépendent néanmoins de la nature des investissements et des domaines d'action privilégiés. L'objet de cet article est d'analyser l'efficacité de la politique publique de relance de l'offre agricole du Bénin à partir des dépenses publiques

d'investissement agricoles (DPIA) de l'État et des PTF, de la nature des investissements réalisés et des effets induits sur la production du maïs et riz, deux céréales substituables de grande consommation au Bénin. L'analyse des DPIA au Bénin présente un double intérêt. Elle permet de connaître la place que les pouvoirs publics accordent à l'agriculture dans les stratégies de développement d'une part et d'apprécier la contribution financière dans la dynamique actuelle du développement économique d'autre part. Cet article vise donc à éclairer les actions du gouvernement béninois en lui fournissant le support analytique pouvant l'aider à identifier des mesures concrètes pour améliorer l'efficacité des DPIA.

## 2. Matériel et méthodes

L'analyse porte sur l'évaluation économique de l'action publique entreprise dans le secteur agricole au Bénin pour faire face à court terme à la crise alimentaire induite par la flambée des prix alimentaires de 2008 mais aussi pour répondre durablement à la demande en maïs et riz. Afin d'établir des relations de causes à effets, d'une part, les DPIA de l'État et des PTF de 2006 à 2012 ont été mobilisées à partir de deux bases de données, la première sur la loi des finances de 2006 à 2012 obtenue à la Direction du Budget du Ministère de l'Économie et des Finances, et la seconde sur les projets agricoles exécutés sur fonds extérieurs de 2008 à 2012 par les PTF. D'autre part, les DPIA de l'État et des PTF ont été ensuite catégorisées par domaines d'actions, puis comparées avec les performances agricoles obtenues au niveau des 2 céréales majeures ciblées (maïs et riz). L'année 2008 a été considérée comme base de référence, avec deux années de décalage (2006) afin de suivre les tendances d'évolution et quatre années après (2012) afin d'évaluer les effets induits. Afin de capter l'effet éventuel de l'accroissement des DPIA sur l'offre en maïs et riz, toute chose égale par ailleurs, des indicateurs de performance ont été mesurés à travers l'accroissement des superficies cultivées et des productions obtenues sur le même horizon temporel, c'est-à-dire de 2006 à 2012.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. La crise a induit un relèvement puis un relâchement des DPIA

La structure des dépenses publiques d'investissement par secteur par rapport aux dépenses publiques totales d'investissement (DPTI<sup>1</sup>) sur l'horizon temporel 2006 à 2012, montre la prédominance notamment des secteurs des infrastructures, de la santé, de l'éducation et de l'agriculture (Tableau 1). En dehors de 2006 et 2009 où l'agriculture absorbait l'essentiel des DPTI avec 22,93 % et 10,29 % respectivement, les secteurs prioritaires ont été inversés durant les autres années. En 2007, la part des DPIA a baissé au profit des infrastructures, de la santé et de l'éducation, quoique l'agriculture ait représenté le second poste d'investissement en 2008 avec 11,24 % après les infrastructures (17,20 %), le second poste en 2010 avec 10,66 % après les infrastructures (11,93 %), respectivement cinquième et troisième poste de dépense en investissements en 2011 et 2012. En réponse à la crise alimentaire de 2008, les DPIA ont sensiblement augmenté en 2009 plus que dans les autres secteurs économiques et sociaux. La réaction publique en termes d'augmentation des DPIA a été bien réelle juste après la crise, avant de baisser au profit d'autres secteurs prioritaires.

À partir de 2006, le nouveau régime politique du Bénin a consenti d'énormes dépenses d'investissement dans les grands travaux d'infrastructures, de construction et d'équipements d'écoles pour s'aligner sur les normes recommandées de l'UEMOA. Mais cet effort financier exigé et mis en œuvre n'a pas eu d'effets significatifs sur les DPIA de la période considérée.

<sup>1</sup> Inclus les dépenses en investissements totaux sur budget national et financement des PTF.



De 2008 à 2012, le Bénin a injecté 9,60% de ses ressources budgétaires à l'investissement agricole, niveau très proche des 10%, minimum recommandé depuis 2003 dans le cadre du Programme Détaillé pour le Développement de l'Agriculture Africaine (PDDAA) conçu à l'initiative du Nouveau Partenariat pour le Développement de l'Afrique (NEPAD) (CEDEAO, 2008). D'après les estimations de la CEDEAO (2008), l'affectation d'au moins 10% des ressources budgétaires<sup>2</sup> permettrait aux états africains d'avoir une contribution de l'agriculture pour au moins 6% de la croissance économique annuelle.

**Tableau 1.** Évolution de la structure des dépenses publiques d'investissement (%) par principaux secteurs de 2006 à 2012 au Bénin.

Secteurs	2006	2007	2008*	2009	2010	2011	2012
Agriculture	22,93	7,66	11,24	10,29	10,66	7,16	8,66
Santé	13,05	12,75	10,62	5,62	7,57	9,87	5,33
Éducation	12,87	9,22	9,59	5,33	6,99	7,17	11,25
Justice	1,85	0,66	0,31	0,99	0,73	0,69	0,85
Décentralisation	--	0,10	0,98	1,36	1,21	10,15	7,49
Infrastructures	18,61	20,72	17,20	8,57	11,93	20,25	18,18
Sécurité	0,62	0,20	0,98	0,20	0,50	1,12	0,90

\* : année de référence.

Source : World Bank, 2012.

Bien que le Produit Intérieur Brut (PIB) et le Produit Intérieur Brut Agricole (PIBA) aient régulièrement augmenté de manière significative de 2006 à 2012, rapportées en valeurs absolues, les DPIA<sup>3</sup> et DPTI ont évolué en dents de scie. Les DPIA ont d'abord régressé entre 2006 et 2007, ensuite régulièrement augmenté en 2009 et 2010 par rapport à 2008, avant de baisser à nouveau en 2011 et 2012 (Tableau 2). Les DPIA en valeur absolue ont augmenté de 43,31% en 2009 et de 21,65% en 2010 par rapport à l'année de référence 2008 avec une contribution significative du budget national. Les baisses des DPIA et DPTI en 2011 et 2012 pourraient être dues aux difficultés financières actuelles engendrées par la crise économique de 2008 et auxquelles font face surtout les pays de l'OCDE<sup>4</sup> et particulièrement européens qui sont les principaux contributeurs de l'appui budgétaire au Bénin. Avec un PIBA moyen de 32,40% sur la période 2006 à 2012, l'agriculture béninoise n'a reçu en termes d'investissements que seulement 0,7% du PIB, niveau encore faible. Cette DPIA moyenne suggère donc une allocation intersectorielle inefficace des ressources et une mauvaise répartition des revenus générés. Si l'agriculture béninoise doit jouer le rôle moteur, l'idéal serait alors d'augmenter la part du PIB qui lui est affectée et de dépasser la norme requise des dépenses d'investissement (10% des budgets) pour accroître davantage la création de richesse, et puis développer les secteurs secondaires et tertiaires en aval. L'effort consenti en termes de DPIA sur le court terme est néanmoins à saluer par rapport aux autres pays voisins de l'espace CEDEAO comme le Togo et le Nigéria. En avril 2010, 8 pays africains ont affecté au moins les 10% de leurs ressources budgétaires à l'agriculture (Burkina Faso<sup>5</sup>, Éthiopie, Mali, Malawi, Ghana, Niger, Sénégal et Zimbabwe); 9 pays parmi lesquels figure le Bénin, se situent dans la fourchette de 5 à 10%, et 28 pays sont en deçà de 5% (ReSAKSS/IFPRI, 2010).

<sup>2</sup> En supposant une meilleure allocation des ressources affectées.

<sup>3</sup> Inclus les dépenses en investissements agricoles sur budget national et financement des PTF.

<sup>4</sup> Organisation de Coopération et de Développement Économique.

<sup>5</sup> Le Burkina Faso affecte plus de 10% de ses ressources budgétaires à l'agriculture depuis 1997 (ReSAKSS/IFPRI, 2010).

**Tableau 2.** Évolution de quelques indicateurs macroéconomiques du Bénin de 2006 à 2012.

	2006	2007	2008*	2009	2010	2011	2012
DPTI (milliards FCFA)	113,40	198,40	193,00	302,30	247,65	129,85	159,44
DPIA (milliards FCFA)	26,00	15,20	21,7	31,10	26,40	9,30	13,80
PIBA (milliards FCFA)	798,01	826,89	958,39	1 006,9	1 053,76	1 149,00	1 221,82
PIB (milliards FCFA)	2 460,24	2 638,98	2 970,54	3 109,43	3 247,98	3 443,47	3 760,44
Ratio DPIA/ PIB (%)	1,06	0,58	0,73	1,00	0,81	0,27	0,37
Ratio PIBA/PIB (%)	32,44	31,33	32,26	32,38	32,44	33,37	32,49

\* : année de référence.

Source : FAO, 2013 ; World Bank, 2012 ; ReSAKSS/IFPRI, 2010.

Les PTF bilatéraux (Pays-Bas, Belgique, Danemark, Allemagne, Italie) et multilatéraux du Bénin (Banque mondiale, Union Européenne, BOAD<sup>6</sup>, FAO, PNUD, FIDA, CIDR) sont intervenus de manière prompte pour appuyer le Gouvernement afin d'accroître l'offre agricole locale à la suite de la crise alimentaire de 2008. L'accompagnement des PTF à la crise alimentaire s'est concrétisé par le financement d'opérations de développement et de recherche, avec une durée d'exécution variant d'une opération à une autre. Certaines opérations peuvent durer seulement 1 an et d'autres, 5 ans. Les actions ciblant et impliquant les productions de maïs et de riz sur la période 2008 à 2012 ont coûté 309,46 millions €, essentiellement supportées par le budget national à hauteur de 155,35 millions € (50,20%), suivi des PTF multilatéraux avec 141,16 millions € (45,61%) et enfin des PTF bilatéraux avec 12,95 millions € (4,18%) (Tableau 3).

**Tableau 3.** Contributions des PTF dans le financement des productions de maïs et de riz, post-crise alimentaire de 2008.

	Nombre de projets financés	Financement apporté (millions €)	Ratio financement apporté/ financement total (%)
Bénin	10	155,35	50,20
Allemagne	1	2,40	0,78
Belgique	6	8,40	2,71
Danemark	1	0,28	0,09
Italie	1	1,09	0,35
Pays-Bas	2	0,78	0,25
Total PTF Bilatéraux	11	12,95	4,18
Banque mondiale	5	69,58	22,48
BOAD	4	32,18	10,40
CIDR	1	1,04	0,34
FAO	3	13,90	4,49
FIDA	3	11,85	3,83
PNUD	1	6,52	2,11
UE	2	6,10	1,97
Total PTF Multilatéraux	19	141,16	45,61
Total	25	309,46	100,00

Source : FED, 2013 ; MEF, 2013.

Au total, 25 projets ciblant des opérations de développement et de recherche, impliquant le maïs et le riz ont été lancés sur des financements publics des PTF et de l'État. Certains PTF ont été seuls à financer des opérations alors que d'autres sont financées par plusieurs PTF à la fois. La Belgique se distingue parmi les PTF bilatéraux avec 8,40 millions € apportés puis l'Allemagne avec 2,40 millions € pour résorber à court, moyen et long termes la crise

<sup>6</sup> Voir liste des abréviations en fin d'article.

alimentaire de 2008 et supporter le développement de l'offre agricole locale. Dans la catégorie des PTF multilatéraux, les grands contributeurs du Bénin sur cette période post-crise, sont la Banque mondiale avec 69,58 millions € (22,48 %), la BOAD avec 32,18 millions € (10,40 %), la FAO avec 13,90 millions € (4,49 %) et le FIDA avec 11,85 millions € (3,83 %).

Le soutien spontané des PTF au gouvernement du Bénin pour faire face à la crise alimentaire de 2008 répond bien à l'appel lancé par l'agence des Nations Unies (Mittal, 2009). Le soutien au développement de l'offre agricole locale serait plus efficace qu'une politique d'aide alimentaire. L'aide alimentaire utilisée par certains pays développés comme réponses de court terme à la crise alimentaire peut porter entorse au développement agricole des pays en développement récepteurs. En effet, une politique de soutien au développement de l'offre agricole locale permet de développer l'appareil de production, de créer de l'emploi et de générer des revenus qui se redistribuent dans toute l'économie à travers les comportements de consommation, d'investissements et d'épargne des ménages. Ainsi, malgré les ressources budgétaires limitées<sup>7</sup> et la crise économique et financière mondiale actuelle, le Bénin a financé des opérations de développement sur les deux principales céréales de grande consommation (maïs et riz) pour un montant assez significatif, dans l'espoir de développer leurs productions et de faire baisser les prix sur les marchés. Les émeutes de la faim découlant de la crise alimentaire de 2008 montrent en effet le caractère très sensible de l'alimentation pour les populations qui appellent en retour l'action publique. Cet effort financier du gouvernement mérite d'être souligné et le place comme premier contributeur à la résorption de la crise alimentaire notamment pour le maïs et le riz au Bénin.

### 3.2. Catégorisation des DPIA par domaine d'actions pour les productions de maïs et de riz

Sur 25 projets à caractère développement et recherche, différents domaines d'actions ont été ciblés dans les financements apportés pour induire l'offre locale de maïs et de riz au Bénin : soutien à la compétitivité des filières agricoles, installation de jeunes promoteurs agricoles, soutien à la commercialisation et l'accès au marché, appui aux facteurs de production (semences de qualité, engrais, insecticides, herbicides), soutien à la transformation, stockage et l'adoption de nouvelles technologies performantes de production, équipements agricoles et aménagement de périmètres hydro-agricoles, soutien aux services agricoles (recherche, formation, encadrement, vulgarisation, crédits agricoles) et promotion de la bonne gouvernance dans les filières agricoles (Tableau 4). Sur les 25 projets répertoriés, 5 projets ont spécifiquement concerné le maïs, 13 ont concerné le riz avec une attention particulière pour l'association riz-maraîchage au niveau des bas fonds. Les projets impliquant toutes les spéculations agricoles sont des opérations structurantes allant de l'organisation des acteurs, à l'approvisionnement en facteurs de production, le soutien aux services agricoles, l'accès aux marchés agricoles jusqu'aux équipements et infrastructures agricoles et rurales.

Le tableau 4 montre que peu d'opérations sont allées vers l'installation de jeunes agriculteurs (3 projets), l'information sur les prix des produits agricoles et anticipation sur les crises alimentaires (1 seul projet). Beaucoup d'opérations structurantes ont été mises en œuvre, contrairement aux politiques agricoles jusque-là mises en œuvre, indiquant clairement la perspective de moyen et long termes. En effet, les domaines d'actions les plus financés sont l'aménagement hydro-agricole, le soutien à l'équipement et aux infrastructures (13 projets), le soutien à l'accès aux facteurs de production (12 projets) nécessaires pour l'obtention de meilleures productivités, le soutien à la transformation et le stockage des produits agricoles (13 projets) pour créer plus de valeurs ajoutées, le soutien à la commercialisation et aux marchés des produits agricoles (13 projets) pour faciliter l'intégration aux marchés et stabiliser les prix agricoles.

<sup>7</sup> Le Bénin est classé parmi les pays les moins avancés avec un PIB/tête de 802 \$ US en 2011 (World Bank, 2013).

**Tableau 4.** Catégorisation des DPIA par domaines d'actions au profit du maïs et du riz.

Domaines d'actions	Nombre de projets	Bailleurs de Fonds	Envergure de l'action	Spéculations concernées
Informations sur les prix des produits agricoles et anticipation sur les crises alimentaires	1	Danemark	National	Toute spéculation
Installation de jeunes agriculteurs	3	Belgique, Budget national	Vallées, national, départements	Riz, maraîchage, toute spéculation
Compétitivité des filières agricoles	6	Belgique, Budget national, Pays-Bas, FIDA, BOAD, FAO	Départements, national, vallées	Maïs, riz, maraîchage, toute spéculation
Commercialisation et accès au marché	13	UE1, GIZ2, Italie, Belgique, Banque mondiale, Pays-Bas, Budget national, FIDA, PNUD, BOAD, FAO	Départements, national, communes	Riz, maraîchage, toute spéculation, maïs, niébé, légumes, productions animales
Transformation et stockage, adoption de nouvelles technologies post-récolte	13	UE, GIZ, Italie, Belgique, Banque mondiale, Pays-Bas, Budget national, FIDA, PNUD, BOAD, FAO, CIDR	Départements, national	Riz, toute spéculation, maïs, niébé, légumes
Accès aux facteurs de production	12	UE, GIZ, Italie, Belgique, Banque mondiale, Budget national, FIDA, CIDR	National, départements, vallées	Maïs, riz, maraîchage, soja, niébé, manioc, légumes
Bonne Gouvernance	12	UE, Belgique, Banque mondiale, Budget national, FIDA, PNUD, BOAD, FAO	National, départements, vallées	Toute spéculation, riz, maraîchage, maïs
Services agricoles	10	UE, GIZ, Belgique, Italie, Banque mondiale, Budget national, CIDR	National, départements, vallées	Toute spéculation, riz, maraîchage, niébé, soja, légumes, riz, maraîchage, maïs
Aménagement hydro-agricole, infrastructures et équipements	13	UE, Belgique, Banque mondiale, GIZ, Italie, Budget national, CIDR, FIDA, BOAD, FAO	National, départements, vallées, communes	Toute spéculation, riz, maraîchage, soja, niébé, légumes, maïs
Nombre total de projets financés			25	
Coût global (millions €)			309,46	

Source : FED, 2013 ; MEF, 2013.

De même, le soutien à la compétitivité des filières agricoles (6 projets), à la gouvernance des filières agricoles (12 projets) dans un contexte d'asymétrie d'informations entre les acteurs et de jeux de rapport de force, et enfin le soutien aux services agricoles (10 projets) permettant l'acquisition de savoir, de savoir-faire pour de petits producteurs, en majorité analphabètes, ont été privilégiés et expliquent la légitimité de l'action publique en agriculture béninoise. Les investissements effectués dans ces différents domaines structurants montrent que l'État béninois a tiré les leçons des échecs passés et s'est engagé vers la mise en place d'une politique agricole efficace qui générerait à long terme, une offre agricole locale plus importante au détriment d'une simple politique alimentaire de courte période. Les DPIA au Bénin ont ciblé majoritairement les domaines d'actions qui constituaient les contraintes au développement agricole dans les pays en voie de développement (Dia Kamgnia, 2013). Alors que le soutien public aux services agricoles et l'appui à l'approvisionnement en facteurs de production avaient été éliminés dans le cadre des PAS (Félix, 2006), nos résultats indiquent leurs retours, qui semblent néanmoins nécessaires

pour améliorer la productivité agricole, adopter de nouvelles technologies de production plus performantes et stabiliser les prix agricoles (Tschirley, Jayne, 2010; Peeters, Albers, 2013). D'après Mittal (2009), le soutien de l'État est nécessaire et aucun pays n'a pu développer son agriculture sans protections et soutiens. L'intervention publique permet de corriger les défaillances des marchés et d'anticiper des évolutions liées aux changements sociaux comme la croissance démographique et l'urbanisation (Félix, 2006). L'intervention publique, comme celle induite par la crise alimentaire de 2008 au Bénin, peut être légitimée par des objectifs de développement d'une agriculture encore familiale et faiblement productive visant la stabilité sociale, l'emploi, l'aménagement du territoire, le traitement des inégalités et la redistribution des richesses, la préservation d'une certaine indépendance. Le soutien à l'aménagement hydro-agricole, à l'équipement et aux infrastructures agricoles est essentiel pour accroître l'offre locale agricole, la vendre à un prix relativement bas et aussi de transférer le surplus de main-d'œuvre agricole vers les secteurs secondaires et tertiaires (Mundlak, 2000). Le développement industriel de certains pays de l'OCDE procède de cet échange intersectoriel, comme l'illustre la période des trente glorieuses en France (Fourastié, 1979). Aussi, dans un contexte où la terre agricole n'est pas un facteur limitant, l'amélioration de la productivité de la terre par une meilleure allocation du travail et du capital était nécessaire. Les domaines d'actions privilégiées par les DPIA permettent d'améliorer la productivité de la terre. Les politiques de relance de l'offre en maïs et riz au Bénin, malgré leur coût relativement élevé, si elles sont efficaces (analysées dans la section 3.3) permettraient de diminuer les importations alimentaires. La réponse à la crise alimentaire de 2008 constitue pour le Bénin, le point de départ d'une nouvelle politique agricole.

Certains PTF (Belgique, Italie, UE notamment) ont privilégié leurs actions sur le riz et le maraîchage avec des aménagements hydro-agricoles. Les Pays-Bas ont concentré leurs financements sur les opérations de recherche afin de favoriser l'intégration au marché et la compétitivité des filières agricoles notamment pour le maïs, la première céréale de grande consommation au Bénin. Le Danemark a ciblé son appui sur le rôle de l'information sur les prix des produits agricoles comme instrument d'anticipation de futures crises. Les institutions internationales et régionales de développement (Banque mondiale, FAO, FIDA et BOAD) ont privilégié les opérations de développement rural et agricole dans son ensemble par le soutien aux activités génératrices de revenu, l'accès aux semences certifiées et le développement des infrastructures agricoles et rurales. L'État béninois s'est concentré sur des actions structurantes de moyen et long termes comme la mécanisation agricole, l'aménagement des bas-fonds, la diversification agricole et l'installation de jeunes agriculteurs professionnels. De 2008 à 2012, les domaines d'actions les plus financés pour les deux céréales de grande consommation au Bénin sont similaires à ceux identifiés par Mittal (2009) et Rosset (2008) pour lesquels l'action publique était déterminante pour espérer développer l'agriculture et assurer la souveraineté alimentaire.

### 3.3. Accroissement de l'offre locale en riz et maïs de 2008 à 2012

En prenant 2008 comme année de référence, les superficies ensemencées et les productions en maïs n'ont pas augmenté de 2008 à 2012 (Tableau 5). Au contraire, elles sont restées stables, voire ont baissé, excepté 2012 où la production a augmenté de 7,5 % par rapport à 2008. On en déduit que la politique de relance de l'offre locale en maïs par l'augmentation des DPIA n'a pas eu d'effets significatifs.

Cette contre-performance de la politique de relance du maïs sur le court terme peut être liée aux successives inondations intervenues au Bénin en 2009, 2010 et 2011, qui ont pour effets la destruction de nombreux champs. Ce résultat suggère aussi que, 4 ans après la crise alimentaire au Bénin, l'offre locale en maïs n'a pas évolué, se situant à une moyenne annuelle de 1 041 943 tonnes. La capacité de réaction à court terme du Bénin pour le maïs face à une crise éventuelle est encore très limitée, malgré les DPIA engagés.

**Tableau 5.** Accroissement de l'offre en maïs et riz de 2008 à 2012.

	Maïs				Riz			
	Superficie (ha)	Production (t)	Accroissement des superficies (%)	Accroissement des productions (%)	Superficie (ha)	Production (t)	Accroissement des superficies (%)	Accroissement des productions (%)
2006	1 038 463	1 190 095,0	4,48	9,74	29 064	72 432	-28,86	-31,41
2007	736 661	753 121,3	-19,64	-30,55	31 204	74 866	-23,62	-29,10
2008*	993 923	1 084 467,0	0,00	0,00	40 856	105 596	0,00	0,00
2009	916 662	1 074 701,4	-7,77	-0,90	47 058	112 700	15,18	6,73
2010	918 237	1 012 630,0	-7,61	-6,62	55 797	124 975	36,57	18,35
2011	820 159	1 012 630,0	-17,48	-6,62	47 058	118 838	15,18	12,54
2012	820 161	1 165 957,0	-17,48	7,51	55 796	130 256	36,57	23,35

\* : année de référence.

Sources : FAO, 2013 ; World Bank, 2012 ; ReSAKSS/IFPRI, 2010.

En revanche, les impacts de la politique de relance de l'offre locale en riz par les DPIA sont beaucoup plus visibles. En effet, en prenant toujours 2008 comme année de référence, les superficies ensemencées et les productions obtenues en riz ont régulièrement augmenté avec un taux d'accroissement record des superficies de 36,57 % en 2010 et 2012, et des productions de 23,35 % en 2012. L'offre locale en riz a sensiblement augmenté en termes de superficies et de productions en 4 ans d'efforts de relance publique. Cet accroissement aurait pu être encore plus important sans les inondations successives de 2009, 2010 et 2011, qui ont occasionné d'importants dégâts dans les périmètres hydro-agricoles de Karimama et de Malanville dans le Nord-Bénin. Néanmoins, l'accroissement de la production en riz consécutive à la crise alimentaire permet de constituer sur le court et le moyen terme des stocks de réserve de manière à se préserver contre d'éventuelles futures crises au Bénin. Ces résultats peuvent aisément s'expliquer en comparant le nombre de projets financés pour chaque spéculation. En effet, le nombre de projets spécifiquement au profit du maïs est seulement de 5 alors qu'il est de 13 projets pour le riz.

## 4. Conclusion

La crise alimentaire de 2008 a induit une réadaptation des politiques agricoles et alimentaires dans de nombreux pays africains, qui y sont diversement exposés. L'objet de cet article était d'analyser l'efficacité de la politique de relance de l'offre agricole locale au Bénin à partir des DPIA de l'État et des PTF, induites par la crise alimentaire de 2008. Pour cela, les domaines d'actions ciblés par les bailleurs de fonds ont été catégorisés et les effets induits sur les productions de maïs et riz ont été mesurés.

La crise alimentaire a induit une hausse en valeur absolue des DPIA de 43,31 % en 2009 et de 21,65 % en 2010, immédiatement après 2008, un relâchement en 2011 et 2012, coïncidant aussi avec une baisse sensible des DPTI. La crise n'a pas provoqué un reclassement des secteurs prioritaires pour le gouvernement béninois et les PTF, pour lesquels les infrastructures, la santé et l'éducation représentent les secteurs prioritaires d'intervention, à côté de l'agriculture. La résolution de la crise a nécessité une bonne coordination des actions de l'État et des PTF. Le Bénin est le premier financeur des investissements productifs pour le maïs et le riz, suivi de quelques PTF bilatéraux et multilatéraux de 2008 à 2012. Le riz a bénéficié spécifiquement de 13 projets alors qu'il est uniquement de 5 pour le maïs en 4 ans. Les financements ciblés sur ces deux céréales ont couvert différents domaines. Les domaines d'actions privilégiés recouvrent ceux qui constituaient des contraintes au développement agricole dans la majorité



des pays en développement, comme le soutien à l'aménagement hydro-agricole, la mécanisation agricole et l'équipement agricole, le soutien à l'accès aux facteurs de production, le soutien à la commercialisation et l'accès au marché, l'appui à la bonne gouvernance, le soutien aux services agricoles. Le retour de l'action publique de l'État et des PTF<sup>8</sup> dans le développement de ces domaines structurants vient infirmer la thèse des institutions internationales de développement (Banque mondiale, Fonds Monétaire International) qui prônaient son retrait au profit du secteur privé dans le cadre des PAS au milieu des années 1980. La crise alimentaire de 2008 semble être le point de départ de la mise en œuvre d'une nouvelle politique agricole par la réintroduction des interventions publiques de l'État et des PTF dans des domaines bien ciblés au Bénin. L'analyse de l'efficacité de l'intervention publique a montré que seule la production de riz a connu des accroissements sensibles en 4 ans, de 6,73 % en 2009 à 23,35 % en 2012. Les effets de cette nouvelle politique n'ont pas encore provoqué un accroissement de la production de maïs, qui s'est stabilisée voire a régressé. Outre le nombre limité de projets (5) impliquant particulièrement le maïs, le facteur explicatif de cette contre-performance de la politique de relance du maïs pourrait être les inondations successives de 2009, 2010 et 2011 qui ont détruit de nombreux champs.

## Bibliographie

- Abbott Ph.C., Hurt C., Tyner W.E., 2011. *What's Driving Food Prices in 2011?* Issue Report Farm Foundation, Oak Brook, IL, USA.
- Bouët A., Laborde Debucquet D., 2012. Food crisis and export taxation: the cost of non-cooperative trade policies. *Review of World Economics*, **148**(1), 209-233.
- CEDEAO (Communauté Économique des États de l'Afrique de l'Ouest), 2008. *La politique agricole régionale (ECOWAP) et l'Offensive pour la production alimentaire et contre la faim*. Note introductive soumise par la Commission de la CEDEAO, Paris, 9 décembre 2008, 18 p. [http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/IMG/pdf/02\\_Mise\\_en\\_oeuvre\\_Ecowap-v\\_fr.pdf](http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/IMG/pdf/02_Mise_en_oeuvre_Ecowap-v_fr.pdf)
- CNUCED (Conférence des Nations-Unies sur le Commerce et le Développement), 2008. *Répondre à la crise alimentaire globale : Les politiques essentielles pour le commerce, l'investissement et les produits de base afin d'assurer la sécurité alimentaire durable et d'atténuer la pauvreté*. Rapport, Nations Unies, New York et Genève, UNCTAD/OSG/2008/1/Corr.1, 17 novembre 2008.
- Courleux F., 2009. Instabilité des prix alimentaires dans les pays en développement : vers un changement de paradigme? *Veille*, **27**.
- Dia Kamgnia B., 2013. Political Economy of Recent Global Food Price Shocks: Gainers, Losers and Compensatory Mechanism. *Journal of African Economies*, **20**(1), 142-210.
- Dieng A., 2006. *Impacts des politiques agricoles sur l'offre céréalière au Sénégal, de 1960 à 2003 : évaluation à partir d'un modèle d'analyse statistique par zones agro-écologiques*. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, Dijon, France.
- FAO, 2013. *CountrySTAT Bénin : Répartition de la production et superficies des cultures primaires selon Année, Produit (tonnes)*. <http://countrystat.org/home.aspx?c=ben&ta=053CPD010&tr=7>.
- Félix A., 2006. Éléments pour une refonte des politiques agricoles en Afrique sub-saharienne. *Afrique Contemporaine*, **217**(1), 159-172.
- Fonds Européen de Développement (FED), 2013. *Programme Indicatif National 2014-2020*. Rapport. Cotonou, 32 p.
- Fourastié J., 1979. *Les Trente Glorieuses, ou la révolution invisible de 1946 à 1975*. Fayard, Paris.
- Galtier F., 2009. Comment gérer l'instabilité des prix alimentaires dans les pays en développement? *Working Paper Moisa*, **4**/2009.
- Gbéténonmon A., 2012. Les crises alimentaires en Afrique de l'Ouest : Une conséquence des politiques économiques. *Bulletin de Cotonou*, **1**, 1-12.

<sup>8</sup> Y compris la Banque mondiale.



- Headey D., 2011. Rethinking the global food crisis: The role of trade shocks. *Food Policy*, **36**(2), 136-146.
- Jouyet J.P., de Boissieu C., Guillon S., 2010. *Prévenir et gérer l'instabilité des marchés agricoles. Rapport d'étapes*. Ministère de l'Agriculture, Paris, 18 p.
- Lin J., 2008. *Prepared Remarks presented at the roundtable on "preparing for the next global food price crisis"*. Center for Global Development, Washington DC., October 17, 2008.
- Maître d'Hôtel É., Alpha A., Beaujeu R., Gérard F., Levard L., 2011. Gestion de l'instabilité des prix agricoles en Afrique : Quatre conditions d'efficacité des politiques. *Perspective* (Cirad), **12**(4).
- MEF, 2013. *Cahier statistique, budget Économique, 2013*. Ministère de l'Économie et des Finances, Cotonou.
- Mittal A., 2009. *The 2008 Food Price Crisis: Rethinking Food Security Policies*. United Nations, New York & Geneva. UNCTAD, G-24 Discussion Paper Series n° 56.
- Mundlak Y., 2000. *Agriculture and Economic Growth: Theory and Measurement*. Harvard University Press, Cambridge, UK.
- Moumouni I.M., 2013. Perceptions des acteurs sur le financement des services agricoles au Bénin. *Économie Rurale*, **334**, 69-83.
- Peeters M., Albers R., 2013. Food Prices, Government Subsidies and Fiscal Balances in South Mediterranean Countries. *Development Policy Review*, **31**(3), 273-290.
- ReSAKSS/IFPRI, 2010. *Diagnostic du secteur agricole de pays : Dépenses publiques. Rapport diagnostic*. ReSAKSS/IFPRI, Washington DC., 113 p.
- Rosset P., 2008. Food Sovereignty and the Contemporary Food Crisis. *Development*, **51**(4), 460-463.
- Stiglitz E.J., 2002. *La Grande Désillusion*. Fayard, Paris.
- Tschirley D.L., Jayne T.S. 2010. Exploring the logic behind Southern Africa's food crises. *World Development*, **38**(1), 76-87.
- Von Braun J., Torero M., 2009. Implementing Physical and Virtual Food Reserves to Protect the Poor and Prevent Market Failure. *IFPRI Policy Brief*, **10**(4). (International Food Policy Research Institute). [http://www.iatp-web.us/iatp/files/2012\\_07\\_13\\_IATP\\_GrainReservesReader.pdf#page=27](http://www.iatp-web.us/iatp/files/2012_07_13_IATP_GrainReservesReader.pdf#page=27)
- World Bank, 2008. *World Development Report 2008: Agriculture for Development*. World Bank, Washington DC.
- World Bank, 2012. *Bénin : Revue des Dépenses Publiques, Renforcer la décentralisation pour améliorer la fourniture de services publics*. World Bank, Washington DC., Rapport n° 58009-BJ.
- World Bank, 2013. *Bénin, PIB par habitant (\$ US courants)*. <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/NY.GDP.PCAP.CD/countries>.

## Liste des sigles et abréviations

BOAD : Banque Ouest Africaine de Développement  
 CEDEAO : Communauté Économique des États de l'Afrique de l'Ouest  
 CIDR : Centre International de Développement et de Recherche  
 CILSS : Comité Inter-États de Lutte contre la Sécheresse au Sahel  
 CNUCED : Conférence des Nations-Unies sur le Commerce et le Développement  
 DPIA : Dépenses Publiques d'Investissement Agricoles  
 DPTI : Dépenses Publiques Totales d'Investissement  
 FAO : Organisation des Nations-Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation  
 FCFA : Francs de la Communauté Financière Africaine  
 FED : Fonds Européen de Développement  
 FIDA : Fonds International pour le Développement Agricole  
 GIZ : Coopération Technique Allemande  
 IFPRI : International Food Policy Research Institute  
 MEF : Ministère de l'Économie et des Finances

NEPAD : Nouveau Partenariat pour le Développement de l'Afrique  
OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économique  
PAS : Programmes d'Ajustement Structurel  
PDDAA : Programme Détaillé pour le Développement de l'Agriculture Africaine  
PIB : Produit Intérieur Brut  
PIBA : Produit Intérieur Brut Agricole  
PNUD : Programme des Nations-Unies pour le Développement  
PTF : Partenaires Techniques et Financiers  
ReSAKSS: Regional Strategic Analysis and Knowledge Support System  
UE : Union Européenne  
UEMOA : Union Économique et Monétaire Ouest Africaine

## Impact of rising world rice prices on poverty and inequality in Burkina Faso

Badolo Félix, CERDI, E-mail: felix.badolo@gmail.com.  
Traore Fousseni, IFPRI, E-mail: Fousseini.Traore@cgiar.org

### Abstract

Between January 2006 and April 2008, the prices of most of the agricultural products considerably rose in international markets. Empirical studies show that this spike in world food prices has increased the number of poor households in developing countries, but the magnitude is not the same in all countries. This paper assesses the impact of rising rice price on poverty and income inequality in Burkina Faso. We use a methodology based on the concept of compensating variation combined with the net benefit ratio (NBR) developed by Deaton (1989) and living standard survey (QUIBB, 2003). The results show that higher rice prices have a negative impact on income and poverty in the regions with a large proportion of households who are net buyers of rice. The poverty rate increases by 2.2 to 2.9 percentage points depending on the assumptions. The increase in poverty increase is higher in urban areas than in rural areas. Rising rice prices also increase income inequality. Income inequality particularly increases in urban areas and in relatively rich regions, but it decreases in poor regions with an important proportion of rice producers.

### Impact de la hausse du prix du riz sur la pauvreté et les inégalités de revenu au Burkina Faso

Sur la période allant de janvier 2006 à avril 2008, les prix de la plupart des produits agricoles ont considérablement augmenté sur les marchés internationaux. Les études empiriques montrent que cette hausse exagérée des prix internationaux a conduit à une augmentation de la pauvreté dans les pays en développement, mais à des degrés divers selon les pays. Cet article évalue l'impact de la hausse du prix du riz sur la pauvreté et les inégalités de revenu au Burkina Faso. Nous utilisons une méthodologie basée sur le concept de la variation compensatoire combiné au ratio de bénéfice net développé par Deaton (1989) et les données de l'enquête sur les conditions de vie des ménages (QUIBB, 2003). Les résultats montrent que la hausse du prix du riz a un impact négatif sur le revenu et la pauvreté dans les régions où les ménages considérés comme acheteurs nets de riz sont en nombre important. Le taux de pauvreté augmente de 2,2 à 2,9 points de pourcentage en fonction de nos hypothèses d'analyse. L'augmentation de la pauvreté est plus élevée en milieu urbain qu'en milieu rural. La hausse des prix entraîne aussi une augmentation des inégalités de revenu. Les inégalités de revenu augmentent particulièrement en milieu urbain et relativement dans les régions riches. Mais, elles diminuent dans les régions pauvres où il y a un nombre important de producteurs de riz.

## 1. Introduction

Between 2006 and 2008, the prices of most of the agricultural products considerably increased in international markets. Wheat price more than doubled between March 2007 and March 2008, rice price tripled from January to April 2008; and maize price doubled between July 2007 and June 2008 (World Bank, 2008). This increase in food prices could affect households' income in low income countries as their food expenditures represent an important proportion of the total expenditures. In addition, their income depends heavily on agricultural production. Farmers are expected to benefit from higher prices because they will

see an increase in their income that can offset rising food prices. In contrast, consumers are likely to be adversely affected by rising food prices.

The nature and the magnitude of the effects of higher world prices on producers and consumers in the low income countries depend on how those countries respond to spikes in prices. Indeed, these effects differ according to market structures and public intervention mechanisms. The spike in food prices on the period 2007-2008 led to a 26% and 16% increase in prices in Vietnam and Chile respectively. Even in countries where inflation was historically low (for example West Africa Economic and Monetary Union<sup>1</sup> countries), the prices significantly increased over the period 2007-2008. A recent study applied to Burkina Faso shows that more than 80% of the increase in world prices are transmitted to domestic markets (Badolo, 2010).

For many analysts, the price increase is rather an opportunity for producers from the Southern countries which have long suffered from the falling prices. Farmers are expected to benefit from higher prices because they will see an increase in their income that can offset rising food prices. In contrast, consumers are likely to be adversely affected by rising food prices. In addition to this effect on income and poverty, it is appropriate to consider the potential impacts on income inequality. Indeed, in most of the Sub-Saharan Africa countries, rice consumers are households who live in urban area and those with intermediate incomes. However, the majority of producers are rural poor households. Hence an increase in rice prices tends to reduce households' income and to increase poverty (Minot, Goletti, 2000; Simler, 2010). But rising rice prices tend to reduce income inequality as long as rice farmers represent an important proportion in the total population.

Curiously, most of the empirical studies have examined the short run effects of higher prices and tend to neglect the long run effects and the potential effects on income inequality<sup>2</sup>.

The objective of this paper is to estimate the impact of higher rice prices in international markets on poverty and income inequality in Burkina Faso which is a major rice consumer and imports more than 60% of its total consumption. This paper is an extension of the study conducted by Badolo (2012) which highlights an almost complete transmission of higher international prices to local markets in Burkina Faso. The impact of higher prices will be estimated in two ways. First, we analyze the effects of higher prices on households in terms of poverty and income inequality by taking into account their social and economic characteristics<sup>3</sup>. Given that Burkinabe households are rice consumers and they allocate a high proportion of their budget to it, we expect a negative impact of higher prices on their income. This impact should be positive on the net producers of rice. Depending on whether the net producers of rice have a high income or a low income, we expect an increase or decrease in income inequality in major rice producing areas.

We use a methodology based on the net benefit ratio (NBR) developed by Deaton (1989) combined with the concept of compensating variation of income (Deaton, Muellebauer, 1980; Minot, Goletti, 2000). We use the living standard survey conducted by National Statistics and Demography Institute (NSDI) over the period 2002-2003 (QUIBB, 2003). The survey includes 8,500 households and contains information on income from rice and total consumption expenditures. We estimate the impact of higher food prices on households' income, poverty rate and income inequality.

This method is favourable to estimate, in addition to short run effects, the long run effects of rising food prices and to distinguish between net producers and net consumers. We estimate

<sup>1</sup> West Africa Economic and Monetary Union is composed of Benin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Guinea-Bissau, Mali, Niger, Senegal and Togo.

<sup>2</sup> To our knowledge, no study addresses this issue.

<sup>3</sup> Location, income group and region.

the impact of higher prices on poverty using the formula developed by Minot and Daniels (2002). The authors consider the impact on producers. We extend their formula by adding consumers to calculate the net impact on poverty indicators developed by Foster, Greer and Thorbecke (1984). Furthermore, unlike previous studies that have analyzed the impact of higher food prices on poverty, in addition to this impact, our paper takes into account the effects on income inequality using Gini and Theil indexes.

The results show that rising rice prices adversely affects households' income in the short and long run, and increases poverty in most of the regions except for rice producing areas. The effect is higher in urban areas than in rural areas. Rising food prices also increases income inequality except for a few regions.

## 2. Empirical literature review

There is an extensive literature on the impact of changes in food prices on households in low income countries but the results are sometimes mixed. We discuss the results of recent studies in this part.

The findings of most of the studies depend on household profile, depending on whether the household is a net producer or a net consumer, and the proportion of net producers in the total population. Ulimwengi and Ramadan (2009) use a multimarket model and living standard survey (UNHS, 2005-2006) to analyze the impact of higher food price on consumption and profits in Uganda. The data show that on average 12% of households are net producers and 66% are net consumers. The authors conclude that households who depend on the agricultural sector and who live in rural areas are positively affected by rising food prices. This might be explained by the fact that rural households are more likely to be net producers.

Ivanic and Martin (2008) estimate the short run effects of higher food prices for seven commodities<sup>4</sup> on poverty using living standard survey in nine developing countries. The authors use the method developed by Singh, Squire and Strauss (1986) and Deaton (1989, 1997). They conclude that on average a 10% increase in food prices leads to an increase in poverty. However, an analysis by product and by country gives different results. For example, in the case of Vietnam, a 10% increase in rice price reduces rural poverty by 1 percentage point and increases urban poverty by 0.2 percentage point, but there is a decline of 0.5 percentage point of poverty at national level. This might be explained by the fact that net producers who benefit from higher food prices are more important than net consumers. In Zambia and Malawi, a 10% increase in maize price increases rural poverty by 0.8 and 0.5 percentage point, and urban poverty by 0.2 and 0.3 percentage points respectively. In the two countries, urban and rural households are net consumers of maize.

The study conducted by Minot (2010) is one of the few studies that have examined the long run effects of rising food prices on poverty in low income countries. The author uses living standard survey conducted over the period 2005-2006 and the method developed by Deaton (1989) to analyze the impact of higher food prices on poverty in Ghana. He shows that on average 21% and 46% of households are producers and consumers of maize respectively and a 81% increase in producer and consumer prices leads to an increase in poverty by 0.6 percentage points in the short run. However, if the increase in producer price is higher than in consumer price, poverty falls by 1.2 percentage points in the short run. Urban households (7% of net producers and 56% of net consumers) lose both in the short and long run, but the losses are less important in the long run. In contrast, rural households (31% of net producers and 39% of net consumers) win in the long run and in the case where producer prices rise

<sup>4</sup> Rice, maize, wheat, dairy, poultry, beef and sugar.

more than consumer prices. In regions where the proportion of net producers of rice is almost equal to that of net consumers, poverty falls in the long term if producer prices rise more than consumer prices.

Beyond the household profile, some empirical results are explained by the social and economic situation of each country and region. The study conducted by Wodon et al. (2008) highlights this aspect. The authors estimate the short run impact of food imported prices on poverty using the method developed by Deaton (1989) in twelve West and Central African countries. They conclude that an increase in food prices leads to an increase in poverty more important in rural areas than in urban areas in Ghana, Senegal and Liberia. The case of Ghana might be explained by the fact that poverty was initially lower than in the other two countries. The results obtained in Senegal and Liberia are due to the importance of imported food in household consumption so that the gains of net producers are low.

Finally, the findings of studies on the effects of rising food prices depend on the magnitude of the increase in food prices, the social and economic characteristics of households and the social and economic situation of the country. Many of these studies focus on the analysis of the short run effects and tend to neglect the long run effects. None of these studies has considered the impact on inequality. Our paper contributes to the literature by assessing the long run effects and the impact on inequality.

### 3. Methodology and data

#### 3.1. Methodology

We use the method developed by Deaton (1989) and extended by Minot and Goletti (2000). This method does not impose any particular structure on the data and does not require a significant amount of information. In addition, it has the advantage of allowing the identification of net producers and net consumers and of distinguishing between the short and the long run impacts using the supply and demand elasticities. We use the concept of compensating variation to calculate the income loss of consumers related to higher food prices. We analyze the short and long run effects on real income, poverty and income inequality.

##### 3.1.1. Measuring of the impact of rising rice prices on real income

The impact of price changes on household welfare is often calculated using consumer surplus<sup>5</sup> (CS) or the equivalent variation<sup>6</sup> (EV) or the compensating variation (CV). In this paper, we use the concept of compensating variation as it was developed by Deaton, Muellebauer (1980) and Minot, Goletti (2000). The compensating variation is defined as the amount of money needed to compensate a consumer for the price change and restore the original utility level. So in the case of rising food prices, the compensating variation is the most relevant measure (Varian, 2008). In addition, unlike the two other measures, it requires fewer assumptions as one needs only the original level of the data before the price change. The compensating variation change can be written as the difference between two values of the expenditure function:

$$CV = e(p_1, u_0) - e(p_0, u_0) \quad (\text{Eq. 1})$$

where  $CV$  is the compensating variation,  $e(.)$  is the expenditure function,  $p$  is the vector of prices,  $p_0$  and  $p_1$  are before (0) and after (1) the price change,  $u$  is utility. Using second-order

<sup>5</sup> If there is a price change, the surplus consumer is limited because it is based on the implicit hypothesis of constant marginal utility of money along the integration path (Deaton, Muellebauer, 1980).

<sup>6</sup> The equivalent variation is the willingness to pay. It measures the maximal amount to pay to prevent the increase in prices and it requires the price and quantity levels of the initial situation.

Taylor series expression and Shephard's lemma on Equation (1), we obtain the effect of price changes on consumer<sup>7</sup>:

$$\frac{CV}{x_0} \cong \frac{p_{0i} q_i(p_0, x_0)}{x_0} \frac{\Delta p_i}{p_{0i}} + \frac{1}{2} \varepsilon_d \frac{p_{0i} q_i(p_0, x_0)}{x_0} \left( \frac{\Delta p_i}{p_{0i}} \right)^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

where  $q_i$  and  $p_i$  are the quantity demanded and the rice price respectively,  $x_0$  the original income and  $\varepsilon_d$  is the own-price elasticity of demand of rice. Equation (3) can be rewritten in its reduced form:

$$\frac{CV}{x_0} \cong CR_r \frac{\Delta p_i}{p_{0i}} + \frac{1}{2} \varepsilon_d CR_r \left( \frac{\Delta p_i}{p_{0i}} \right)^2 \quad (\text{Eq. 3})$$

$CR_i$  is the consumption ratio for rice which is defined as the proportion of budget affected to rice consumption.

The impact of rising prices on the household as producer is determined using the profit variation which is defined as following:

$$\Delta \pi = \pi(p_1, w_0, z) - \pi(p_0, w_0, z) \quad (\text{Eq. 4})$$

where  $\Delta \pi$  is the profit variation,  $\pi(\cdot)$  is the profit function,  $p$  is the vector of output prices,  $p_0$  and  $p_1$  are the before (0) and after (1) the price change,  $w$  is the vector of input prices,  $z$  is the vector of fixed factor quantities. By applying the same procedure used in the case of consumers, we obtain the effect of rising prices on the household as producer<sup>7</sup> which is defined as following:

$$\frac{\Delta \pi}{x_0} \cong \frac{p_{0i} s_i(p_0, w_0, z_0)}{x_0} \frac{\Delta p_i}{p_{0i}} + \frac{1}{2} \varepsilon_s \frac{p_{0i} s_i(p_0, w_0, z_0)}{x_0} \left( \frac{\Delta p_i}{p_{0i}} \right)^2 \quad (\text{Eq. 5})$$

where  $s_i$  and  $p_i$  are the supply quantity and the price of rice, and  $\varepsilon_s$  is the own-price elasticity of supply of rice. Equation (5) can be rewritten in its reduced form:

$$\frac{\Delta \pi}{x_0} \cong PR_r \frac{\Delta p_i}{p_{0i}} + \frac{1}{2} \varepsilon_s PR_i \left( \frac{\Delta p_i}{p_{0i}} \right)^2 \quad (\text{Eq. 6})$$

$PR_i$  is the production ratio of rice which is defined as the value of rice production as a proportion of income (or total expenditure). Combining Equation (3) and Equation (6), the following expression is obtained:

$$\frac{\Delta w^2}{x_0} \cong \frac{\Delta p^p}{p_{0i}^p} PR_i + \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta p^p}{p_{0i}^p} \right)^2 PR_i \varepsilon_s - \frac{\Delta p^c}{p_{0i}^c} CR_i - \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta p^c}{p_{0i}^c} \right)^2 CR_i \varepsilon_d \quad (\text{Eq. 7})$$

where  $\Delta w^2$  is the second-order of the net welfare effect of a rice price change on household,  $p^c$  and  $p^p$  are the consumption and production prices respectively. Equation (7) takes into account the response of producers and consumers to the rice price change. The immediate welfare impact of the price change is obtained by setting the elasticities equal to zero:

$$\frac{\Delta w^1}{x_0} \cong \frac{\Delta p^p}{p_{0i}^p} PR_i - \frac{\Delta p^c}{p_{0i}^c} CR_i \quad (\text{Eq. 8})$$

where  $\Delta w^1$  is the first-order approximation of the net welfare effect of a rice price change.

There are two major issues in this analysis. The first one is the relationship between producer and consumer prices. The second issue is the use of appropriate supply and demand elasticities.

The first issue is related to the fact that it is rarely possible to obtain data on producer prices of commodities particularly in sub-Saharan African countries. To avoid this problem, most of the studies suppose that producer and consumer prices increase in the same proportion,

<sup>7</sup> The detailed derivation is available upon request.



which is equivalent to assuming a marketing margin that is a fixed proportion of the consumer price. However, the assumption of fixed marketing margin is more plausible, which implies that the percentage increase in producer price will be greater than the percentage increase in consumer price. Such assumptions make sensitive the estimation of the impact of higher prices on welfare (see Dawe, Matsoglou, 2009). For example, if the consumer price is twice the producer price and the marketing margin is fixed in the absolute terms, the percentage increase in the producer price will be twice the percentage increase in the consumer price.

Regarding the elasticities, most of the studies assume no household responses (e.g. Deaton, 1989; Ivanic, Martin, 2008), which means that the elasticities are equal to zero. However, in the long run, households may be able to respond both as consumers and as producers. In this paper, we consider two assumptions. First, we assume that the value of demand and supply elasticities is equal to zero, which corresponds to the short run impact. Second, the value of elasticities is different from zero. We assume own-price demand elasticities of -0.20 and -0.40 and supply elasticities of 0.20 and 0.40. We perform a sensitivity analysis using own-price demand elasticities in the range of -0.20 and -0.40 and supply elasticities in the range of 0.20 and 0.40 by random draws from a uniform distribution.

The estimation of the short run impacts of higher prices on poverty and inequality is based on two simulations.

**In simulation 1a**, we assume that households do not respond to higher prices (zero elasticities) and that producer and consumer prices rise by the same percentage (15%).

**In simulation 2a**, we assume that households do not respond to higher prices (zero elasticities) and that the percentage increase in producer prices is twice the percentage increase in consumer prices (30% and 15%).

The simulations for the long run impacts are defined as following.

**In simulation 1b**, we assume that households respond to price changes (demand elasticity is of -0.20 and supply elasticity is of 0.20) and that producer and consumer prices rise by the same percentage (15%).

**In simulation 2b**, we assume that households respond to price changes (-0.20 and 0.20) and that the percentage increase in producer price is twice the percentage increase in consumer prices (15% and 30%).

**In simulation 3**, we assume that households respond to higher prices (-0.40 and 0.40) and that producer and consumer prices rise by the same percentage (15%).

**In simulation 4**, we assume that households respond to higher prices (-0.40 and 0.40) and that the percentage increase in producer prices is twice the percentage increase in consumer prices (15% and 30%).

### 3.1.2. *Measuring the impact of rising rice prices on poverty*

The impact of rising rice price on poverty is estimated using the approach developed by Minot and Daniels (2002) to examine the impact of cotton price variations on producers in Benin. We extend their formula by taking into account the consumers to determine the overall impact. We compare the poverty measures before and after the price has changed.

We calculate the impact of higher prices on poverty using the income expression defined as follows: (Eq. 9)

$$x_{i1} = x_{i0} + \Delta\pi - CV$$

where  $x_1$  and  $x_0$  are the consumption expenditures of household before and after the price change, respectively,  $\Delta\pi$  and  $CV$  are the profit variation and compensating variation, respectively. By replacing  $\Delta\pi$  and  $CV$  by their expressions, we obtain:

$$x_1 = x_0 + s_i(p_0, w_0, z) \Delta p_i + \frac{1}{2} \varepsilon_s \frac{s_i(p_0, w_0, z)}{p_{0i}} (\Delta p)^2 - [q_i(p_0, x_0) \Delta p_i + \frac{1}{2} \varepsilon_d \frac{q_i(p_0, x_0)}{p_{0i}} (\Delta p)^2] \quad (\text{Eq. 10})$$

The impact of higher prices on poverty is examined using the poverty measures developed by Foster, Greer and Thorbecke (1984) defined as following:

$$P_\alpha = \frac{1}{N} \sum_n \left[ \frac{x - x_j}{x} \right]^\alpha \quad (\text{Eq. 11})$$

where  $P_\alpha$  is the measure of poverty,  $N$  is the number of households,  $x$  is the poverty line,  $x_j$  is the consumption expenditure of household  $j$ . If  $\alpha = 0$ ,  $P_0$  measures the poverty headcount, i.e. the proportion of households with an expenditure level below poverty line. If  $\alpha = 1$ ,  $P_1$  measures the poverty gap. This measure takes into account the number of poor and severity of poverty. If  $\alpha = 2$ ,  $P_2$  measures the poverty gap squared. This measure takes into account inequality between poor and gives more weight to the poorest.

The poverty analysis raises an important issue which is the choice of variable of interest used to calculate the poverty indicator. The variables frequently used in the empirical literature on poverty are the total consumption of households, per capita consumption and per adult equivalent consumption. The total consumption of households does not take into account the size of household and tends to overestimates the welfare of individuals who are in households with a large size. Per capita consumption takes into account the size of household but it doesn't consider differences in the size and composition by sex and age of households. To calculate per adult equivalent consumption, we convert households in adult equivalents using the equivalence scales and we divide the total consumption of households by the number of adult equivalents. Per adult equivalent consumption takes into account both the size and composition by age of households but there is the issue of choice of equivalence scales. We use the two last variables in our estimations. The simulations defined above are used to analyze the impact of higher rice prices on poverty.

### 3.1.3. Measuring the impact of higher prices on income inequality

The increase in rice prices should benefit to net producers and particularly to farmers whose rice sales are prominent. This would reduce income inequality between the rice producing areas and regions where rice consumption is important. Income inequality would also be reduced between rural areas and urban areas. To estimate the effect of higher rice price on inequality, we compare the inequality indicators before and after the price changes.

There are many indicators of income inequality. Two of these indicators are used in this paper: the Gini index (Bellù, Liberati, 2006) and the Theil index (Cowell, 2003). The Gini index is the most used in empirical studies on income inequality. It is defined in its reduced form as the covariance between the income ( $Y$ ) of a person or household and his rank ( $F$ ) in the distribution (the rank is equal to zero for the poorest and one for the richest). If  $y$  is the average level of income, the Gini index is defined as follows:

$$Gini = 2 \text{ cov}(Y, F)/y \quad (\text{Eq. 12})$$

The Gini index takes values between zero and one, with higher values indicating great inequality. In contrast, values close to zero reflect an egalitarian distribution of income. Although the Gini index is the most used in empirical work, it doesn't satisfy all the desirable properties<sup>8</sup> of a good indicator of income inequality.

<sup>8</sup> These criteria are: independence of average, independence of population size, symmetry, decomposition of the inequality indicator, statistical significance of the change in the inequality indicator over time. Gini index doesn't meet the last two criteria.

Many inequality indices have recently been developed, and some of them satisfy all the desirable properties. One important example is the Theil index which is now widely used in empirical work. The Theil index is defined as follow:

$$T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{y_i}{\bar{y}} \ln \left( \frac{y_i}{\bar{y}} \right) \quad (\text{Eq. 13})$$

where  $y$  is the average per capita income (or per capita consumption expenditure). A zero value of the index indicates perfect equality, with higher values of the index indicating greater inequality.

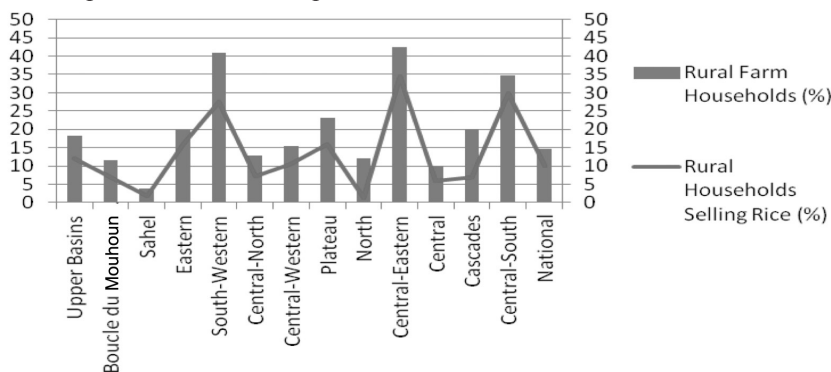
### 3.2. Data

We estimate the impact of higher rice prices on poverty and income inequality in Burkina Faso using living standard survey (QUIBB, 2003). The survey is conducted by National Statistics and Demography Institute (NSDI) of Burkina Faso over the period 2002-2003. The survey covers 8,500 nationally representative households and contains information on income and consumption expenditures.

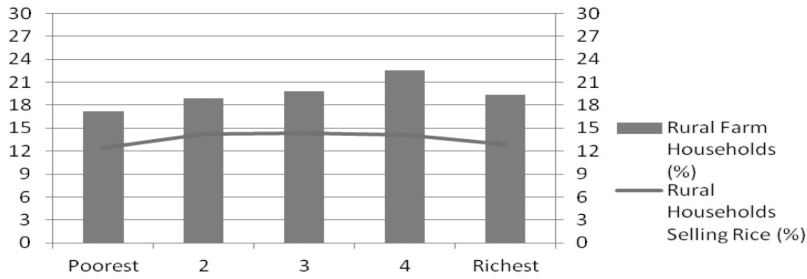
## 4. Consumption and production of rice in Burkina Faso

Burkina Faso is a rural country with almost 80% of its population living in rural areas. The agricultural sector plays a major role in the economy, it represents 45% of GDP and a significant proportion of population depends on agriculture (Food and Agriculture Statistics in Burkina Faso, 2006). Grains play a major role in terms of food security since they represent 90% of food needs in Burkina Faso. Among these grains, millet, maize, sorghum and rice are the most important in terms of food consumption.

Survey data (QUIBB, 2003) indicate that almost 15% of rural households in Burkina Faso are rice producers and 13% of these households derive their income from rice production. Figure 1 shows that in the South-Western and Central-Eastern regions, rice production is more important than in other regions (more than 40% for each region). In other regions rice production stands for 10% – 30%, except for the Sahel where rice production is less than 10%. In nine regions of Burkina Faso, the income of about half of rice producers derives from rice production, except for the Boucle du Mouhoun, Sahel, North and Cascade regions. Figure 2 shows that in all income groups there are rice producers. In the intermediate income group, the number of rice producers is more important.

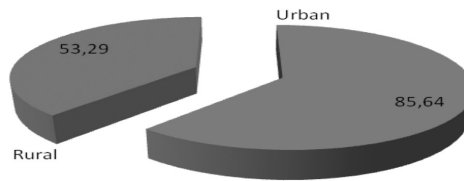


**Figure 1.** Proportion of rural households growing and selling rice by region in Burkina Faso.  
Source: calculated using survey data of QUIBB, 2003.

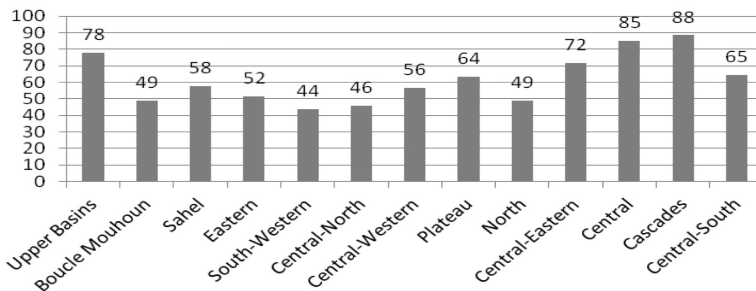


**Figure 2.** Proportion of rural households growing and selling rice by income group in Burkina Faso.  
Source: calculated using survey data of QUIBB, 2003.

According to living standard survey (QUIBB, 2003), there is more than 63% of the population who consume rice in Burkina Faso. Figure 3 shows that rice is more consumed in urban area (85%) than in rural area. An analysis by region shows that rice consumption is more important in Cascades (88%), Central (85%), Upper Basins (78%) and Central-eastern (72%) regions. In other regions, the proportion of rice consumers is between 40% and 70% of the population (Figure 4).



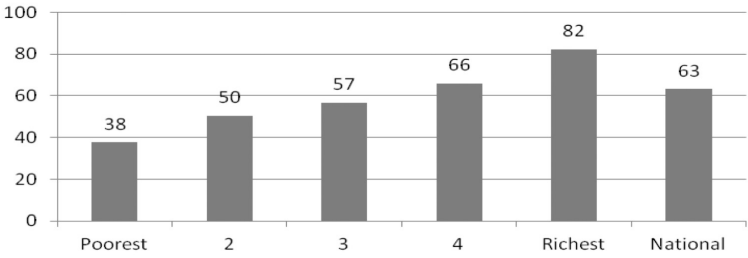
**Figure 3.** Proportion of rice consumers by location in Burkina Faso.  
Source: calculated using survey data of QUIBB, 2003.



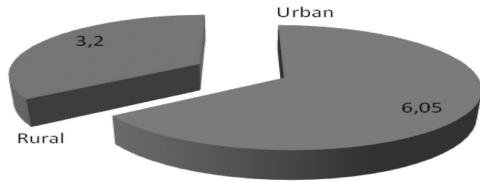
**Figure 4.** Proportion of rice consumers by region in Burkina Faso.  
Source: calculated using survey data of QUIBB, 2003.

Rice consumption considerably varies by income group (Figure 5). The proportion of rice consumers is more important in the high income group (82%) than in the low income group (38%).

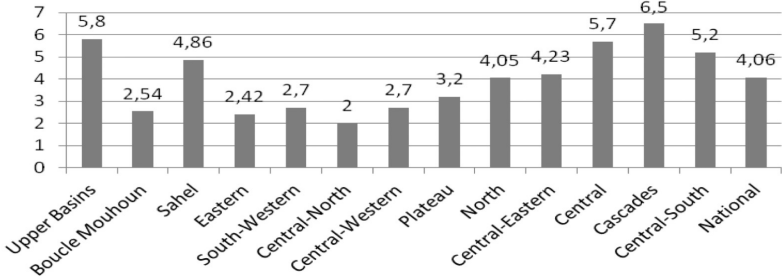
On average, each household affects 4.06% of its budget to rice consumption. The budget affected to rice consumption by urban households is more important (6.05%) than that of rural households (3.20%) (Figure 6). The budget shares affected to rice consumption vary across regions (Figure 7). The regions with the more budget shares are Cascades (6.50%), Upper Basins (5.80%), Central (5.70%), Central-South (5.20%), Sahel (4.86%) and Central-Eastern (4.23%).



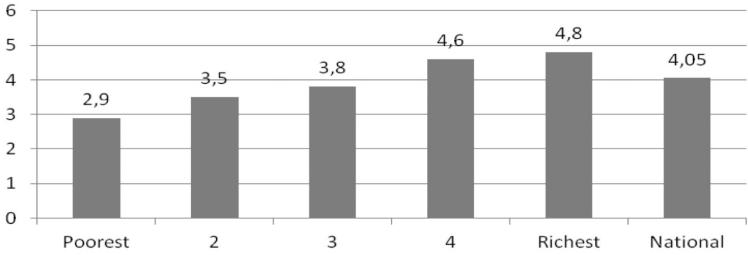
**Figure 5.** Proportion of rice consumers by income group in Burkina Faso.  
Source: calculated using survey data of QUIBB, 2003.



**Figure 6.** Average budget share by location in Burkina Faso.  
Source: calculated using survey data of QUIBB, 2003.



**Figure 7.** Average budget share by region in Burkina Faso.  
Source: calculated using survey data of QUIBB, 2003.



**Figure 8.** Average budget share by income group in Burkina Faso.  
Source: calculated using survey data of QUIBB, 2003.

The budget shares affected to rice consumption vary by income groups. The richest households affect 4.80% of their budget to rice consumption against 2.90% for the poorest households (Figure 8).

## 5. Poverty distribution in Burkina Faso

The absolute poverty line in Burkina Faso in 2003 was estimated to 82,672 CFAF (\$US 0.40 per day) per person and per year (INSD, 2003). This amount represents the level of food and non-food expenditures below which a person is considered as poor. This poverty line represents about 2/5 of \$US 1<sup>9</sup> per day per capita, which is the international poverty line defined by the international community.

Tables 1 and 2 show the poverty indexes by location and by region for per capita expenditure and per adult equivalent expenditure respectively. These indexes are calculated using living standard survey (QUIBB, 2003). The results obtained with per capita consumption show that 51.60% of households in Burkina Faso are below poverty line. The result becomes lower if we use per adult equivalent expenditure (31.72%). The results are different across the regions. The poorest regions are Boucle Mouhoun, South-West, Plateau, North and Central-South, with the poverty lines above national average. The least poor regions are Upper Basins, Central-North and Central, with the poverty lines well below national average.

**Table 1.** Poverty profile by location and by region (per capita consumption) in Burkina Faso.

Household Category	Population (%)	Poverty Indexes			Contribution to National Poverty		
		P0	P1	P2	P0	P1	P2
<b>National</b>	100.00	51.60	23.26	13.55	100.00	100.00	100.00
<b>Location</b>							
Urban	30.60	38.01	15.21	8.07	22.54	20.01	18.22
Rural	69.40	56.65	26.24	15.60	76.19	78.29	79.90
<b>Regions</b>							
Upper Basins	11.80	44.72	18.75	10.27	10.23	9.51	8.94
Boucle du Mouhoun	10.35	64.72	32.37	20.14	12.98	14.40	15.38
Sahel	7.02	47.42	17.44	8.57	6.45	5.26	4.44
Eastern	7.34	49.39	19.78	10.27	7.03	6.24	5.56
South-Western	6.10	60.47	28.45	16.72	7.15	7.46	7.53
Central-North	7.33	42.90	16.34	8.31	6.09	5.15	4.50
Central-Western	7.50	53.82	24.32	14.47	7.82	7.84	8.01
Plateau	4.50	60.46	29.40	18.10	5.27	5.69	6.01
North	7.74	68.31	32.85	20.38	10.25	10.93	11.64
Central-Eastern	7.20	52.40	25.06	15.48	7.31	7.76	8.23
Central	16.27	35.15	15.05	8.30	11.08	10.53	9.97
Cascades	3.05	43.00	20.21	12.46	2.54	2.65	2.80
Central-South	3.80	61.73	28.29	16.38	4.55	4.62	4.59

Source: calculated using Living Standard Survey of Burkina Faso (QUIBB, 2003).

<sup>9</sup> \$US 1 = 565 FCFA on August 2003.

**Table 2.** Poverty profile by location and by region (per adult equivalent consumption) in Burkina Faso.

Household Category	Population (%)	Poverty Indexes			Contribution to National Poverty		
		P0	P1	P2	P0	P1	P2
<b>National</b>	100.00	31.72	12.10	6.35	100.00	100.00	100.00
<b>Location</b>							
Urban	30.60	21.19	7.05	3.41	20.44	17.83	16.43
Rural	69.40	35.62	13.97	7.44	77.93	80.13	81.31
<b>Regions</b>							
Upper Basins	11.80	26.83	9.00	4.36	9.98	8.78	8.10
Boucle du Mouhoun	10.35	44.28	18.62	10.36	14.45	15.93	16.89
Sahel	7.02	23.01	6.60	2.95	5.09	3.83	3.26
Eastern	7.34	27.04	8.15	3.61	6.26	4.94	4.17
South-Western	6.10	40.40	14.80	7.28	7.77	7.46	6.99
Central-North	7.33	21.61	6.63	2.77	4.99	4.02	3.20
Central-Western	7.50	31.18	12.86	7.20	7.37	7.97	8.50
Plateau	4.50	41.36	16.77	9.21	5.87	6.24	6.53
North	7.74	45.13	19.00	10.52	11.01	12.15	12.82
Central-Eastern	7.20	33.68	14.42	8.10	7.64	8.58	9.18
Central	16.27	20.13	7.32	3.73	10.33	9.84	9.56
Cascades	3.05	25.44	11.60	6.79	2.45	2.92	3.26
Central-South	3.80	40.10	14.93	7.45	4.80	4.69	4.46

Source: calculated using Living Standard Survey of Burkina-Faso (QUIBB, 2003).

The poverty gap (P1) is of 23.26% and 12.10% with per capita expenditure and per adult equivalent expenditure, respectively. On average, the poverty gap is relatively less high in Burkina Faso. However, an analysis by region shows that the poverty gap is more important in the Boucle Mouhoun, North and Plateau regions. The results for the severity of poverty (P2) are relatively less high.

Furthermore, poverty is more pronounced in rural areas than in urban areas. The proportion of poor households is of 56.65% and 38.01% in rural and urban areas respectively. If we use per adult equivalent expenditure, we obtain the rates of 35.62% in rural area and of 21.19% in urban area.

## 6. Results

### 6.1. Net benefit ratio by region and location

The net position in a commodity refers to the net sales or purchases of the commodity for a household or a group of households. The net benefit ratio (NBR) is the value of net sales of a commodity as a percentage of household income. As discussed above, a positive NBR means that a household or group of households will gain from higher prices of the commodity in the short run, while a negative NBR means that it will lose.

Table 3 shows the net position in rice of different types of households in Burkina Faso. On average, rice production accounts for 7% of households' income and rice consumption represents 4% of the total. This implies an average NBR of -0.033 or -3.3%. The negative NBR is related to the fact that Burkina Faso is a net rice importer. The net benefit ratio is negative in rural areas (-2.2%), indicating that rural households are adversely affected by higher rice prices on



average. It is not surprising that most urban households are net buyers, with a net benefit ratio strongly negative (-5.7%). Rice is more important to urban households, as a component in their expenditure.

**Table 3.** Rice production, rice consumption and net position in rice in Burkina Faso.

Household Category	Population proportion	Production Ratio (PR)	Consumption Ratio (CR)	Net Benefit Ratio (PR – CR)	Net Seller	Neutral	Net Buyer
		(as a proportion of total expenditures)			(as a proportion of households)		
<b>National</b>	100.000	0.007	0.040	-0.033	2.320	37.920	59.760
<b>Location</b>							
Urban	30.600	0.003	0.060	-0.057	0.380	16.100	83.410
Rural	69.400	0.009	0.031	-0.022	3.170	47.390	49.340
<b>Regions</b>							
Upper Basins	11.800	0.007	0.058	-0.051	1.300	23.420	75.280
Boucle du Mouhoun	10.350	0.001	0.025	-0.024	0.570	51.650	47.780
Sahel	7.020	0.001	0.048	-0.047	0.830	42.500	56.670
Eastern	7.340	0.008	0.024	-0.016	1.130	50.480	48.390
South-Western	6.100	0.020	0.027	-0.007	10.380	54.040	35.580
Central-North	7.330	0.008	0.019	-0.011	3.550	53.550	42.900
Central-Western	7.500	0.001	0.026	-0.025	1.100	44.290	54.620
Plateau	4.500	0.047	0.031	0.016	9.500	36.940	53.560
North	7.740	0.000	0.040	-0.040	0.150	52.580	47.270
Central-Eastern	7.200	0.018	0.042	-0.024	6.450	29.840	63.710
Central	16.270	0.000	0.056	-0.056	0.150	17.040	82.810
Cascades	3.050	0.000	0.065	-0.065	0.000	14.230	85.770
Central-South	3.800	0.012	0.052	-0.040	1.570	39.120	59.250
<b>Quintile</b>							
Poorest	13.450	0.009	0.028	-0.019	2.450	62.380	35.170
2	16.020	0.010	0.034	-0.024	3.240	51.100	45.660
3	17.730	0.010	0.037	-0.027	2.920	44.020	53.050
4	20.600	0.008	0.045	-0.037	2.570	35.730	61.690
Richest	32.200	0.003	0.047	-0.044	1.320	19.170	79.520

Across the 13 administrative regions of Burkina Faso, the Cascades, Central and Upper Basins regions have the most negative NBRs (-6.5%, -5.6% and -5.1% respectively). In all three regions, households who are net buyers of rice account for over 75% of the total. Only one region (Plateau) has a positive NBR, which indicates that a large proportion of households are net rice sellers and would be less affected by an increase in rice price. The results presented by quintile of income shows that the NBR is more negative for the richest quintile of households (-4.4%) than for the poorest (-1.9%). This implies that the adverse effect of higher rice prices would be greatest on the rich.

## 6.2. Impact of higher rice prices on the welfare of households

### 6.2.1. Impact of higher rice prices on real income

Equations 8 and 9 are used to estimate the impact of higher rice prices on real income. Table 4 shows the results of the impact in the short and long run. On average, the increase in

rice prices adversely affects the real income of households in Burkina Faso. The income losses are estimated to 0.49% and 0.3% in the short and long run, respectively. Urban households are more negatively affected than rural households. This might be explained by the fact that the most urban households are net buyers of rice (84%) and they affect a more important budget share on rice consumption than rural households. If we assume a 15% increase in consumer price and a 30% increase in producer price, three regions benefit from these increases in the short and long run (South-Western, Plateau and Central-South). This is related to the fact that in these regions there is a more important proportion of rice producers (more than 60%) and a proportion of these producers derive their income from production. Looking at the impact by quintile of income, both poor and rich households are adversely affected by rising rice prices, but the losses are higher for rich households than for poor ones. Overall, higher rice prices are detrimental to a large majority of households since they are net buyers of rice.

**Table 4.** Impact of higher rice prices on real income in Burkina Faso.

Household Category	Initial NBR	Short run Impact		Long run Impact			
		Simulation 1	Simulation 2	Simulation 1	Simulation 2	Simulation 3	Simulation 4
		P <sub>c</sub> ↑15%	P <sub>c</sub> ↑15%	P <sub>c</sub> ↑15%	P <sub>c</sub> ↑15%	P <sub>c</sub> ↑15%	P <sub>c</sub> ↑15%
		P <sub>p</sub> ↑15%	P <sub>p</sub> ↑30%	P <sub>p</sub> ↑15%	P <sub>p</sub> ↑30%	P <sub>p</sub> ↑15%	P <sub>p</sub> ↑30%
				$\varepsilon^d = -0.20$	$\varepsilon^d = -0.20$	$\varepsilon^d = -0.40$	$\varepsilon^d = -0.40$
				$\varepsilon^s = 0.20$	$\varepsilon^s = 0.20$	$= 0.40$	$= 0.40$
<b>National</b>	-3.30	-0.49	-0.37	-0.49	-0.37	-0.47	-0.35
<b>Location</b>							
Urban	-5.70	-0.76	-0.72	-0.76	-0.72	-0.74	-0.70
Rural	-2.20	-0.37	-0.22	-0.37	-0.20	-0.35	-0.19
<b>Regions</b>							
Upper Basins	-5.10	-0.69	-0.57	-0.69	-0.57	-0.67	-0.54
Boucle du Mouhoun	-2.40	-0.44	-0.42	-0.44	-0.42	-0.43	-0.41
Sahel	-4.70	-0.59	-0.57	-0.59	-0.57	-0.58	-0.55
Eastern	-1.60	-0.20	-0.01	-0.20	-0.01	-0.19	0.01
South-Western	-0.70	-0.10	0.14	-0.10	0.14	-0.08	0.17
Central-North	-1.10	-0.22	-0.11	-0.22	-0.11	-0.21	-0.09
Central-Western	-2.50	-0.39	-0.35	-0.39	-0.35	-0.38	-0.34
Plateau	1.60	-0.15	0.25	-0.10	0.25	-0.13	0.30
North	-4.00	-0.58	-0.52	-0.58	-0.52	-0.56	-0.50
Central-Eastern	-2.40	-0.50	-0.30	-0.50	-0.30	-0.48	-0.27
Central	-5.60	-0.82	-0.79	-0.82	-0.79	-0.80	-0.77
Cascades	-6.50	-0.83	-0.82	-0.83	-0.82	-0.81	-0.80
Central-South	-4.00	-0.16	0.31	-0.16	0.31	-0.14	0.37
<b>Quintile</b>							
Poorest	-1.90	-0.37	-0.19	-0.37	-0.19	-0.35	-0.16
2	-2.40	-0.48	-0.40	-0.48	-0.40	-0.47	-0.38
3	-2.70	-0.42	-0.29	-0.42	-0.29	-0.41	-0.27
4	-3.70	-0.44	-0.29	-0.44	-0.29	-0.42	-0.26
Richest	-4.40	-0.60	-0.52	-0.60	-0.52	-0.59	-0.50

### 6.2.2. Impact of higher rice prices on poverty

Equations (10) and (11) are used to estimate the impact of higher rice prices on the three poverty indicators: headcount poverty (P0), poverty gap (P1) and severity of poverty (P2). We

discuss the impact of higher rice prices on headcount poverty in this section<sup>10</sup>. The poverty line used is equal to 82,672 CFAF per capita and per year (NSDI, Burkina Faso, 2003). This poverty line corresponds to \$US 146 per capita per year.

Table 5 shows the effect of higher rice prices on poverty in Burkina Faso under different assumptions about household responses and about the margin between producer and consumer prices. At the national level, an increase in both consumer and producer prices in the short and long run increases poverty rate that varies between 2.2 and 2.6 percentage points depending on simulations. These percentages correspond to increases in number of poor by 268,334 and 317,122. In the long run, the effects are less negative as households adapt to the price increases. For example, if the producer price rises more than the consumer price, the poverty rate increases by 2.25 percentage points in the long run, this is less important than in the other simulations.

**Table 5.** Impact of higher rice prices on headcount poverty index (per capita consumption) in Burkina Faso.

Household Category	Initial Poverty Rate	Short run Impact		Long run Impact			
		Simulation 1	Simulation 2	Simulation 1	Simulation 2	Simulation 3	Simulation 4
		P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑15%	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑30%	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑15% ε <sup>d</sup> =-0.20 ε <sup>s</sup> =0.20	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑30% ε <sup>d</sup> =-0.20 ε <sup>s</sup> =0.20	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑15% ε <sup>d</sup> =-0.40 ε <sup>s</sup> =0.40	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑30% ε <sup>d</sup> =-0.40 ε <sup>s</sup> =0.40
<b>National</b>	51.60	2.61	2.27	2.54	2.27	2.55	2.25
<b>Location</b>							
Urban	38.01	3.98	3.94	3.99	3.92	3.95	3.91
Rural	56.65	2.09	1.76	2.00	1.64	2.00	1.62
<b>Regions</b>							
Upper Basins	47.72	0.49	0.16	0.42	0.08	0.43	0.08
Boucle du Mouhoun	64.72	2.43	2.43	1.77	2.18	2.18	2.17
Sahel	47.42	2.52	2.38	2.58	2.38	2.53	2.38
Eastern	49.39	1.16	0.28	1.16	0.06	1.16	0.06
South-Western	60.47	-0.10	-1.08	-0.07	-1.07	-0.09	-1.34
Central-North	42.89	1.55	1.55	1.55	1.56	1.56	1.56
Central-Western	53.82	2.58	2.43	2.23	2.08	2.23	2.08
Plateau	60.46	2.99	2.76	2.99	2.62	2.99	2.61
North	68.31	2.67	2.67	2.69	2.69	2.67	2.67
Central-Eastern	52.40	3.09	2.75	3.10	2.75	3.09	2.75
Central	35.15	3.62	3.62	3.65	3.63	3.62	3.62
Cascades	43.00	4.18	4.18	4.20	4.19	4.18	4.18
Central-South	61.73	3.27	2.44	3.27	2.45	3.27	2.44

Source: simulations based on survey data of household living standards (QUIBB, 2003).

Both urban and rural households lose from higher rice prices both in the short and long run, but the average losses are more important for urban households (almost equal to 4 percentage points) than for rural ones (about 2 percentage points). Indeed, urban households affect a large budget to rice consumption. The increase in rice prices will lead to a decline in their purchasing power and this will result in an increase in the number of poor more important in urban areas than in rural areas.

<sup>10</sup> The results for P1 and P2 indicators are available upon request.

The poverty impact is quite varied across regions. The increase in rice prices leads to an increase in poverty that varies between 0.16 and 4 percentage points in most of the regions. The poverty rate only decreases in the South-Western (1.07 percentage points in the short run and 1.34 percentage points in the long run). The decline in poverty is greater in this region when producer price increases faster than consumer price and when the elasticities are high. Indeed, the South-Western has an initial poverty rate of 60.47% and a large proportion of rice producers who benefit from higher rice prices. This contributes to reduce the poverty rate in this region.

Table 6 shows the results on poverty using per adult equivalent expenditure. The results are different from those obtained in the previous case. The impact is high in the short and long run. At the national level, the poverty rate increases and varies between 2.6 and 2.9 percentage points depending on simulations.

**Table 6.** Impact of higher rice prices on headcount poverty index (per adult equivalent consumption) in Burkina Faso.

Household Category	Initial Poverty Rate	Short run Impact		Long run Impact			
		Simulation 1	Simulation 2	Simulation 1	Simulation 2	Simulation 3	Simulation 4
		P <sub>c</sub> ↑15%	P <sub>c</sub> ↑15%	P <sub>c</sub> ↑15%	P <sub>c</sub> ↑15%	P <sub>c</sub> ↑15%	P <sub>c</sub> ↑15%
		P <sub>p</sub> ↑15%	P <sub>p</sub> ↑30%	P <sub>p</sub> ↑15%	P <sub>p</sub> ↑30%	P <sub>p</sub> ↑15%	P <sub>p</sub> ↑30%
				$\varepsilon^d = -0.20$ $\varepsilon^s = -0.20$	$\varepsilon^d = -0.20$ $\varepsilon^s = -0.20$	$\varepsilon^d = -0.40$ $\varepsilon^s = -0.40$	$\varepsilon^d = -0.40$ $\varepsilon^s = -0.40$
<b>National</b>	31.72	2.97	2.82	2.88	2.73	2.81	2.66
<b>Location</b>							
Urban	21.19	5.79	5.73	5.56	5.50	5.40	5.34
Rural	35.62	1.93	1.74	1.89	1.70	1.86	1.66
<b>Regions</b>							
Upper Basins	26.83	2.92	2.78	2.64	2.50	2.64	2.50
Boucle du Mouhoun	44.28	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84
Sahel	23.01	3.88	3.88	3.70	3.70	3.70	3.70
Eastern	27.04	1.01	0.86	1.01	0.86	1.01	0.68
South-Western	40.40	0.03	-1.05	0.03	-1.05	-0.39	-1.28
Central-North	21.61	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
Central-Western	31.18	2.38	2.22	2.38	2.22	2.38	2.22
Plateau	41.36	1.12	0.6	1.12	0.6	1.12	0.60
North	45.13	5.37	5.05	5.37	5.05	5.37	5.05
Central-Eastern	33.68	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Central	20.13	6.14	6.14	5.82	5.82	5.53	5.53
Cascades	25.44	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63	5.63
Central-South	40.09	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84

Source: simulations based on survey data of household living standards (QUIBB, 2003).

The increase in rice prices raises the poverty rate by 5 and 2 percentage points in urban and rural areas, respectively. The Eastern, Plateau and Central-South regions are less adversely affected by higher rice prices because of the fact that the number of rice producers is relatively more important in these three regions than in the other regions. The South-Western is the only region where the poverty rate declines in the short and long run depending on simulations. This result is almost similar to that found with the variable of per capita consumption and the explanation given above is equally applicable here.

We perform a sensitive analysis by taking the supply elasticities in the range of 0.20 and 0.40 and demand elasticities in the range of -0.40 and -0.20 from a uniform probability distribution. The results (minimum and maximum values) do not differ significantly from those found previously<sup>11</sup>.

### 6.2.3. Impact of higher rice prices on income inequality

We estimate the impact of higher rice prices on inequality using the Gini and Theil indexes. Tables 7 and 8 show the results for Gini index with per capita consumption and per adult equivalent consumption, respectively. On average, rising rice prices lead to an increase in inequality that varies between 0.4 and 0.5 percentage points depending on the simulations (with per capita consumption). This might be explained by the fact that a large proportion of rice producers are in the intermediate income group. These producers benefit from higher rice prices and this contributes to increase income inequality. We can observe a confirmation of this result by the fact that rising inequality is as important as when producer price increases faster than consumer price (simulation 2 versus simulation 1 in the short run and simulation 2 versus simulation 1 and simulation 4 versus simulation 3 in the long run).

**Table 7.** Impact of higher rice prices on income inequality (per capita consumption) in Burkina Faso.

Household Category	Initial Gini Index	Short run Impact		Long run Impact			
		Simulation 1	Simulation 2	Simulation 1	Simulation 2	Simulation 3	Simulation 4
		P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑15%	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑30%	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑15% ε <sup>d</sup> =-0.20 ε <sup>s</sup> =-0.20	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑30% ε <sup>d</sup> =-0.20 ε <sup>s</sup> =-0.20	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑15% ε <sup>d</sup> =-0.40 ε <sup>s</sup> =-0.40	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑30% ε <sup>d</sup> =-0.40 ε <sup>s</sup> =-0.40
<b>National</b>	55.76	56.19	56.32	56.18	56.31	56.16	56.31
<b>Location</b>							
Urban	58.19	59.51	59.55	59.48	59.52	59.45	59.50
Rural	51.76	52.10	52.39	52.10	52.40	52.09	52.42
<b>Regions</b>							
Upper Basins	51.04	51.38	51.44	51.36	51.43	51.32	51.42
Boucle du Mouhoun	51.55	51.53	51.64	51.53	51.64	51.52	51.64
Sahel	46.72	47.03	47.04	47.02	47.03	47.01	47.02
Eastern	48.00	48.11	48.37	48.11	48.39	48.11	48.41
South-Western	50.23	49.79	49.83	49.79	49.84	49.79	49.85
Central-North	46.34	46.5	47.00	46.50	47.00	46.51	47.03
Central-Western	53.72	54.02	54.12	54.02	54.12	54.01	54.12
Plateau	52.91	53.88	54.84	53.88	54.89	53.88	54.94
North	49.06	48.85	48.83	48.84	48.82	48.82	48.81
Central-Eastern	54.87	55.56	55.82	55.55	55.83	55.53	55.83
Central	60.80	62.44	62.40	62.40	62.36	62.36	62.32
Cascades	55.30	56.74	56.72	56.71	56.69	56.68	56.66
Central-South	52.19	54.74	56.67	54.75	56.76	54.76	56.85

Source: simulations based on survey data of household living standards (QUIBB, 2003).

<sup>11</sup> The results for sensitivity analysis are available upon request.

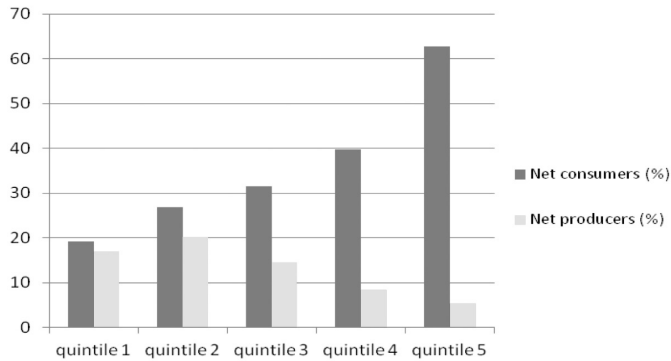
**Table 8.** Impact of higher rice prices on income inequality (per adult equivalent consumption) in Burkina Faso.

Household Category	Initial Gini Index	Short run Impact		Long run Impact			
		Simulation 1	Simulation 2	Simulation 1	Simulation 2	Simulation 3	Simulation 4
		P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑15%	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑30%	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑15% $\varepsilon^d=-0.20$ $\varepsilon^s=0.20$	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑30% $\varepsilon^d=-0.20$ $\varepsilon^s=0.20$	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑15% $\varepsilon^d=-0.40$ $\varepsilon^s=0.40$	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑30% $\varepsilon^d=-0.40$ $\varepsilon^s=0.40$
<b>National</b>	53.22	53.7	53.84	53.68	53.83	53.67	53.83
<b>Location</b>							
Urban	55.44	56.83	56.87	56.79	56.84	56.76	56.81
Rural	49.80	50.16	50.45	50.15	50.47	50.15	50.48
<b>Regions</b>							
Upper Basins	48.64	49.05	49.15	49.04	49.15	49.02	49.14
Boucle du Mouhoun	49.49	49.60	49.72	49.60	49.72	49.60	49.73
Sahel	44.05	44.36	44.37	44.35	44.36	44.33	44.35
Eastern	45.98	46.14	46.43	46.14	46.45	46.14	46.47
South-Western	47.49	46.95	46.98	46.95	47.00	46.95	47.01
Central-North	43.97	44.11	44.58	44.12	44.61	44.12	44.64
Central-Western	51.66	51.99	52.08	51.98	52.08	51.98	52.08
Plateau	51.54	52.50	53.43	52.50	53.48	52.50	53.53
North	46.31	46.21	46.21	46.19	46.20	46.18	46.18
Central-Eastern	53.13	53.86	54.12	53.85	54.12	53.83	54.12
Central	58.02	59.78	59.75	59.73	59.70	59.69	59.65
Cascades	53.28	54.78	54.76	54.75	54.73	54.72	54.70
Central-South	50.30	52.86	54.73	52.86	54.82	52.87	54.91

Source: simulations based on survey data of household living standards (QUIBB, 2003).

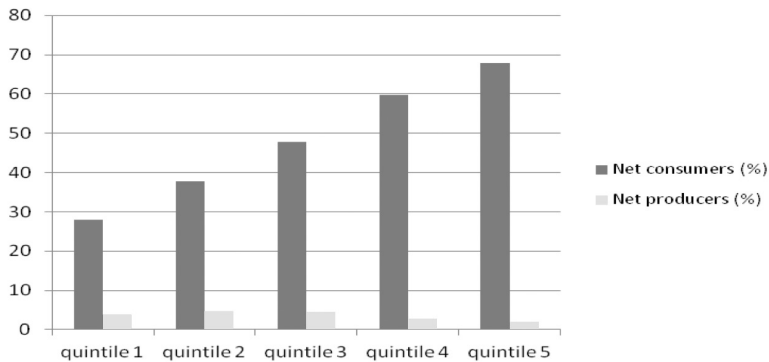
The impact of higher rice prices on inequality is greater in urban areas (1.3 percentage points on average) than in rural areas (varying from 0.3 to 0.6 percentage point). Indeed, urban areas have an initial index of income inequality higher than that of rural areas. In addition, the gap between the proportion of net consumers of rice in low income groups (9.6%) and the proportion of net consumers in high income groups (12.45%) is not very high in urban areas. Regarding rice producers who live in urban areas, the income from rice production of rich households represents four times that of poor households. In addition, the proportion of net producers of rice is lower in urban areas than in rural areas.

Rising rice prices increases inequality in most of the regions except for a few of them. We observe that income inequality declines in the South-Western where the proportion of net producers of rice is the most important. In this region, all income groups derive income from rice production. But income from production is higher for poor households than for rich households (about 25%). However, on average, households from South-Western region are net consumers of rice. An analysis by income group shows that poor households in this region are net producers while rich households are net consumers. In addition, rich households allocate a greater budget to rice consumption than poor households. Figure 9 shows clearly the decreasing relation between the proportion of net producers and the income level. Rice producers from South-Western region and particularly poor farmers benefit from higher prices. This contributes to reduce the income inequality gap.



**Figure 9.** Proportion of net consumers and producers (South-Western region of Burkina Faso).  
Source : Constructed by author using survey data of QUIBB, 2003.

Rising rice prices also lead to a decrease in inequality in the North and Boucle du Mouhoun regions in the short and long run. These two regions have the same characteristics in terms of number of rice farmers (about 10%) and of rice consumers (less than of 50% of population). In addition, in these two regions, the budget affected by rich households to rice consumption is greater than that of poor households. Indeed, the negative effect of higher rice prices on purchasing power will be more important for rich households than for poor. Furthermore there is a proportion of rice producers higher than the national average, which decreases with the income level, particularly in the North (Figure 10).



**Figure 10.** Proportion of net consumers and producers (North region of Burkina Faso).  
Source : Constructed by author using survey data of QUIBB, 2003.

The use of per adult equivalent consumption to calculate income inequality indexes gives results almost similar to those obtained with per capita consumption. We observe a decrease in inequality in the South-Western and North regions. In contrast, inequality increases in the Boucle Mouhoun.

Tables 9 and 10 show the results for the Theil index with per capita consumption and per adult equivalent consumption, respectively. The results are higher than those obtained for the Gini index in the two cases. Rising rice prices leads to an increase in income inequality at the national level that varies between 1.4 and 1.6 percentage points (with per capita consumption). The increase in income inequality is higher in urban areas (between 3.5 and 3.7 percentage points) than in rural areas (between 1 and 1.7 percentage points). We also observe an increase in income inequality in most of the regions except for the South-Western and North regions where income inequality decreases. The use of per adult equivalent consumption gives results almost similar.



**Table 9.** Impact of higher rice prices on income inequality (per capita consumption) in Burkina Faso.

Household Category	Initial Theil Index	Short run Impact		Long run Impact			
		Simulation 1	Simulation 2	Simulation 1	Simulation 2	Simulation 3	Simulation 4
		$P_c \uparrow 15\%$ $P_p \uparrow 15\%$	$P_c \uparrow 15\%$ $P_p \uparrow 30\%$	$P_c \uparrow 15\%$ $P_p \uparrow 15\%$	$P_c \uparrow 15\%$ $P_p \uparrow 30\%$	$P_c \uparrow 15\%$ $P_p \uparrow 15\%$	$P_c \uparrow 15\%$ $P_p \uparrow 30\%$
				$\varepsilon^d = -0.20$ $\varepsilon^s = -0.20$	$\varepsilon^d = -0.20$ $\varepsilon^s = -0.20$	$\varepsilon^d = -0.40$ $\varepsilon^s = -0.40$	$\varepsilon^d = -0.40$ $\varepsilon^s = -0.40$
<b>National</b>	66.03	67.45	67.66	67.42	67.64	67.38	67.63
<b>Location</b>							
Urban	72.73	76.43	76.5	76.36	76.44	76.29	76.38
Rural	53.06	54.08	54.74	54.06	54.77	54.04	54.80
<b>Regions</b>							
Upper Basins	51.42	52.82	52.77	52.78	52.74	52.73	52.71
Boucle du Mouhoun	53.01	53.44	53.69	53.43	53.69	53.42	53.70
Sahel	46.24	47.83	47.77	47.78	47.73	47.74	47.69
Eastern	43.35	43.48	44.22	43.48	44.28	43.48	44.33
South-Western	56.43	55.94	55.53	55.92	55.51	55.90	55.49
Central-North	41.42	41.98	43.22	42.00	43.31	42.01	43.40
Central-Western	56.51	57.47	57.73	57.45	57.73	57.44	57.73
Plateau	56.40	58.28	60.03	58.26	60.13	58.24	60.24
North	47.34	47.07	46.97	47.04	46.94	47.02	46.92
Central-Eastern	57.92	59.59	60.22	59.56	60.23	59.53	60.25
Central	77.81	82.07	81.96	82.00	81.87	81.92	81.79
Cascades	63.97	68.34	68.31	68.26	68.23	68.18	68.15
Central-South	59.10	64.92	72.74	64.95	72.15	64.99	72.56

Source: simulations based on survey data of household living standards (QUIBB, 2003).

## 7. Conclusion

This paper estimates the impact of higher international rice price on poverty and inequality in Burkina Faso. The determination of production and consumption ratios using living standard survey (QUIBB, 2003) shows that most households are net consumers of rice. A great majority of these consumers live in urban areas. In addition, there are rice producers in all income groups, but the proportion of rice producers in the intermediate and high income groups is the most important.

The simulations based on the concept of compensating variation of income and the indicator of net benefit ratio developed by Deaton (1989) show that higher rice prices have a negative effect on the real income in the short and long run. This effect is higher in urban areas than in rural areas. It is also high for higher income groups and in the regions where rice production is very low. If we assume an increase in producer price (30%) more important than that of consumer (15%), the effect is positive for the South-Western, Plateau and Central-South regions because these regions have a larger proportion of rice producers than other regions and they benefit from higher rice prices. The effect is more interesting in the long run for these regions.

The effect of higher rice prices on poverty is negative in the short and long run. If we use the per capita consumption, an increase in rice prices leads to an increase in poverty that varies

between 2.2 and 2.6 percentage points depending on simulations. The variation of poverty rate is from 2.6 to 2.9 percentage points with per adult equivalent consumption. The negative effect on poverty is higher in urban areas than in rural areas. Rising rice prices increase poverty in most of the regions except for the South-Western where there is a large proportion of rice producers who benefit from higher prices. Furthermore, the rise in rice prices increases inequality except for some regions, which are the rice producing areas. The increase in inequality is higher in urban areas than in rural areas. Indeed, the proportion of net producers of rice is not significant in the population and there is not a clear relationship between this proportion and income level at the aggregated level.

**Table 10.** Impact of higher rice prices on income inequality (per adult equivalent consumption) in Burkina Faso.

Household Category	Initial Theil Index	Short run Impact		Long run Impact			
		Simulation 1	Simulation 2	Simulation 1	Simulation 2	Simulation 3	Simulation 4
		P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑15%	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑30%	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑15% $\varepsilon^d = -0.20$ $\varepsilon^s = 0.20$	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑30% $\varepsilon^d = -0.20$ $\varepsilon^s = 0.20$	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑15% $\varepsilon^d = -0.40$ $\varepsilon^s = 0.40$	P <sub>c</sub> ↑15% P <sub>p</sub> ↑30% $\varepsilon^d = -0.40$ $\varepsilon^s = 0.40$
<b>National</b>	57.78	59.14	59.37	59.11	59.36	59.07	59.35
<b>Location</b>							
Urban	62.49	65.85	65.92	65.79	65.86	65.72	65.81
Rural	48.45	49.50	50.14	49.48	50.17	49.47	50.20
<b>Regions</b>							
Upper Basins	45.18	46.61	46.65	46.57	46.62	46.52	46.60
Boucle du Mouhoun	48.42	48.95	49.22	48.94	49.22	48.93	49.22
Sahel	41.04	42.64	42.59	42.60	42.55	42.56	42.51
Eastern	39.16	39.45	40.26	39.45	40.32	39.45	40.37
South-Western	50.17	49.52	49.11	49.50	49.10	49.48	49.08
Central-North	36.11	36.50	37.53	36.51	37.61	36.53	37.68
Central-Western	51.05	52.02	52.25	52.01	52.25	51.99	52.25
Plateau	52.87	54.69	56.23	54.67	56.32	54.64	56.42
North	41.50	41.59	41.52	41.56	41.49	41.53	41.47
Central-Eastern	52.78	54.50	55.06	54.46	55.07	54.43	55.08
Central	66.91	70.84	70.74	70.77	70.66	70.70	70.58
Cascades	56.40	60.47	60.44	60.40	60.36	60.32	60.29
Central-South	55.43	61.05	67.29	61.07	67.66	61.10	68.03

Source: simulations based on survey data of household living standards (QUIBB, 2003).

Overall, the results of this paper show that the changes in world rice prices have a significant impact on households' income, poverty and inequality in Burkina Faso. This highlights the country's vulnerability to food price shocks on international markets. One approach to mitigate this vulnerability would be to implement the economic policies in order to limit the strong dependence of a country vis-à-vis imports. For example, governments could invest to develop the rice local industry in order to meet the domestic demand and encourage exports. In the short run, government could implement sound subsidy policies of grain prices by region. Another issue related to this topic is the high degree of concentration on the import side. The oligopoly structure of the import market may stress the impact of price shocks and reduce the impact of policy options (such as tariff cuts) taken by the government.

Finally, note that the methodology used in this paper corresponds to the maximum effect that would be observed following the increase in rice prices. Indeed, one can imagine that if there are major changes in rice price, households will substitute other grains to rice. However, we generally observe that the prices of locally produced cereals tend to follow the same trends as those that are imported.

## Acknowledgments

We thank Catherine Araujo Bonjean, and Nicolas Minot for their comments.

## Bibliography

- Badolo F., 2012. Transmission des chocs de prix internationaux : le cas du riz au Burkina Faso. *L'Actualité Économique*, **88**(3).
- Barrett C.B., Dorosh P.A., 1996. Farmers' welfare and changing food prices: Nonparametric evidence from rice in Madagascar. *American Journal of Agricultural Economics*, **78**, 656-669.
- Bellù L.G., Liberati P., 2006. *Inequality Analysis: The Gini Index*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. [http://www.fao.org/docs/up/easypol/329/gini\\_index\\_040en.pdf](http://www.fao.org/docs/up/easypol/329/gini_index_040en.pdf).
- Cudjoe G., Breisinger C., Diao X., 2008. *Local impacts of a global crisis: food price transmission and poverty impacts in Ghana*. IFPRI Discussion Paper 00842. International Food Policy Research Institute, Washington DC.
- Cowell F.A., 2003. *Theil, Inequality and the Structure of Income Distribution*. Distributional Analysis Research Programme. Discussion Paper, No. DARP 67, May 2003.
- Deaton A., 1989. Rice prices and income distribution in Thailand: A non-parametric analysis. *Economic Journal*, **99**(395) (Supplement), 1-37.
- Deaton A., Muellbauer J., 1980. An Almost Ideal Demand System. *The American Economic Review*, **70**, 3, 312-326.
- Dawe D., Maltoglou I., 2009. *Analyzing the Impact of Food Price Increases: Assumptions about Marketing Margins can be Crucial*. ESA Working Paper No. 09-02. FAO, Rome.
- Foster J., Greer J., Thorbecke E., 1984. Notes and Comments: A class of decomposable poverty measures. *Econometrica*, **52**, 3.
- INSD (Institut National de la Statistique et de la Demographie), 2003. *Burkina Faso. La pauvreté en 2003*. INSD, Ouagadougou.
- Ivanic M., Martin W., 2007. *Implications of Higher Global food Prices for Poverty in Low-Income Countries*. Policy Research Working paper 4594, World Bank, Washington DC.
- Ivanic M., Martin W., 2008. *Implications of higher global food prices for poverty in low-income countries*. Policy Research Working Paper 4594. World Bank, Washington DC.
- Loening J., Oseni G., 2007. *Approximating rural and urban welfare effects of food price inflation in Ethiopia*. World Bank, Washington DC.
- Minot N., 2010. Transmission of World Food Price Changes to African Markets and its Effect on Household Welfare. In: *Comesa policy seminar Food price variability: Causes, consequences, and policy options on 25-26 January 2010 in Maputo, Mozambique*. Under the Comesa-MSU-IFPRI African Agricultural Markets Project (AAMP).
- Minot N., Goletti F., 2000. *Rice Market Liberalization and Poverty in Viet Nam, Research Report 114*. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Washington DC.
- QUIBB, 2003. *Enquête burkinabè sur les conditions de vie des ménages*. Institut National de la Statistique et de la Démographie, Ouagadougou.

- Reyes et al., 2009. *Analysis of the Impact of Changes in the Prices of Rice and Fuel on Poverty in the Philippines*. Discussion paper series no. 2009-07. Philippine Institute for Development Studies, Makaty City.
- Simler K.R., 2010. *The Short-Term Impact of Higher Food Prices on Poverty in Uganda*. Policy Research Working Paper 5210. The World Bank, Washington DC.
- Trairatvorakul P., 1984. *The effects on income distribution and nutrition of alternative rice price policies in Thailand*. Research Report 46. International Food Policy Research Institute, Washington DC.
- Ulimwengu J., Ramadan R., 2009. *How does food price increase affect Ugandan households? An augmented multimarket approach*. Discussion Paper 00884. International Food Policy Research Institute, Washington DC.
- UNHS, 2006. *Uganda–National Household Survey 2005–2006*. Uganda Bureau of Statistics (UBOS), Ministry of Finance, Planning and Economic Development, Kampala. <http://catalog.ihns.org/index.php/catalog/2348>
- Varian H.R., 2008. *Microeconomic Analysis*. 3<sup>rd</sup> edition. W.W. Norton & Company, New York & London.
- Wetta C., Koné M., 2008. *Pauvreté Chronique au Burkina Faso*. Programme de Recherche sur la Pauvreté Chronique en Afrique de l'Ouest. [http://r4d.dfid.gov.uk/PDF/Outputs/ChronicPoverty\\_RC/IED\\_Pauvrete\\_Burkinafaso\\_rfs.pdf](http://r4d.dfid.gov.uk/PDF/Outputs/ChronicPoverty_RC/IED_Pauvrete_Burkinafaso_rfs.pdf)
- Wodon Q., Zaman H., 2008. *Rising food prices in Sub-Saharan Africa: Poverty impact and policy responses*. Policy Research Working Paper 4738. World Bank, Washington DC.
- World Bank, 2008. *Global Economic Prospects 2009: Commodity Markets at the Crossroads*. The World Bank, Washington DC.



## La transmission des prix mondiaux des céréales aux marchés camerounais

Ambagna Jean Joël, Institut Sous-régional de Statistiques et d'économie Appliquée, Yaoundé, Cameroun, E-mail : Joelambagna@rocketmail.com  
Kane Gilles Quentin, Université de Yaoundé, E-mail : Kanegilles@gmail.com

### Résumé

L'économie camerounaise dépend des marchés alimentaires internationaux pour nourrir sa population. Pourtant, l'instabilité de ces marchés pourrait affecter la stabilité des prix dans les marchés locaux. L'objectif de cette étude est de déterminer l'influence de l'instabilité des prix internationaux des céréales sur les marchés camerounais. L'analyse des indices de prix des céréales dans les marchés de Yaoundé et Douala basée sur l'estimation d'un modèle autorégressif à seuil, à partir des données du Fonds Monétaire International et de l'Institut National de Statistique du Cameroun a permis d'accepter l'hypothèse de cointégration entre les indices des prix des céréales sur le marché international et sur les marchés camerounais. Dans le cas particulier de Yaoundé, l'hypothèse de transmission asymétrique a été acceptée ce qui signifie que l'indice de prix des céréales a tendance à revenir plus rapidement vers sa valeur d'équilibre à la suite d'une baisse des prix des céréales sur le marché international. A contrario, lorsqu'un choc entraîne une hausse des prix des céréales sur le marché international, l'indice de prix des céréales est plus rigide et ne retourne pas vers sa valeur d'équilibre. La sécurité alimentaire des ménages acheteurs nets de produits alimentaires pourrait ainsi se détériorer.

### The transmission of the world grains prices to the Cameroonian markets

The economy of Cameroon depends on international food markets to feed its population. However, the volatility of these markets can influence the stability of prices in local markets. The aim of this article is to determine the influence of world grains prices instability on Cameroonian markets. The analysis of cereals prices index of Yaounde and Douala markets based on the estimation of a Threshold Autoregressive (TAR) model from the data of International Monetary Fund (IMF) and the National Institute of Statistics Cameroon (INS) has permitted the acceptance of the hypothesis of co-integration between the cereals prices index on the international market and Cameroonian markets. In the particular case of Yaounde, the hypothesis of asymmetric transmission is accepted, which means that the index of cereals prices tend to return more quickly to its equilibrium value as a result of lower cereal prices in the international markets. Conversely, when a shock occurs causing an increase in cereal prices in the international market, the price index of cereals is more rigid and does not return to its equilibrium value. This can therefore deteriorate household food security.

## 1. Introduction

Depuis la libéralisation du commerce agricole en 1994, les importations alimentaires se sont intensifiées au Cameroun. Ces importations qui concernent principalement les céréales (riz, blé, maïs) ont accru la dépendance de l'économie camerounaise aux marchés alimentaires internationaux (MINADER, 2006). Bien que la plupart des études concluent que l'ouverture au commerce alimentaire permet de bénéficier des avantages comparatifs (Nash, Mitchell, 2005 ; Maros, Will, 2008), un phénomène important est souvent négligé : la transmission de l'instabilité des prix alimentaires internationaux aux marchés nationaux.

En réalité, les marchés alimentaires internationaux sont très instables. Un pays fortement dépendant de ces marchés s'expose par conséquent au risque de transmission de l'instabilité des prix aux marchés nationaux. Plusieurs facteurs justifient la transmission spatiale des prix. Il

s'agit du pouvoir de marché de certaines firmes ou de certains intermédiaires commerciaux, des coûts de transactions, des asymétries d'information et de risques, des politiques d'intervention et des préférences alimentaires des consommateurs. Ces facteurs expliquent la transmission asymétrique des prix internationaux aux prix nationaux (Bailey, Brorsen, 1989; Abdulai, 2000; Meyer, Von Cramon-Taubadel, 2004).

Par ailleurs, on distingue deux variantes dans la transmission asymétrique des prix : la transmission asymétrique positive et la transmission asymétrique négative.

La transmission asymétrique positive des prix signifie que certaines firmes ayant la possibilité de fixer les prix du marché au-dessus du coût marginal réagissent plus rapidement à une hausse des prix (en la répercutant sur les marchés intérieurs) qu'à une baisse. Dans le cas contraire on parle de transmission asymétrique négative des prix.

Le pouvoir de marché de certaines firmes et les ententes tacites entre les firmes favorisent la transmission asymétrique des prix. Mais, il n'est pas possible de dire a priori si elles conduisent à une transmission asymétrique positive ou négative (Bailey, Brorsen, 1989). Toutefois, Ward (1982) a montré que si les oligopoles sont opposés à une perte de leur pouvoir de marché, ils répercutent plus rapidement les baisses que les hausses de prix (transmission asymétrique négative).

Une autre cause de la transmission asymétrique des prix souvent citée dans le cas des pays en développement est l'asymétrie d'information entre le «centre» et la «périphérie» (Meyer, Von Cramon-Taubadel, 2004). En réalité, les prix au «centre» sont moins réactifs à un changement des prix dans la «périphérie». Par contre les prix de la «périphérie» réagissent rapidement à ceux du «centre».

L'objectif de cette étude est alors de déterminer l'influence de l'instabilité des prix internationaux des céréales sur les marchés camerounais de Yaoundé et Douala à l'aide d'un modèle TAR (*Threshold Autoregressive*) avec seuil unique.

## 2. Méthodologie

### 2.1. Les données

Nous construisons les indices des prix mensuels des céréales de Laspeyres sur le marché international et sur les marchés de Yaoundé et Douala. La base étant fixée à Janvier 1994.

L'indice des prix des céréales sur le marché international (WPI) est construit à partir des données des prix des céréales du Fonds Monétaire International (FMI). Les indices des prix des céréales à Yaoundé (YPI) et Douala (DPI) sont construits à partir des séries des prix collectés par l'Institut National de Statistique du Cameroun (INS).

### 2.2. Le modèle économétrique

Dans un premier temps, nous effectuons un test de cointégration standard en vue de vérifier l'existence d'une relation de long terme entre les indices de prix. Dans un second temps, nous estimons un modèle à correction d'erreur asymétrique, spécifié en vue d'analyser la non-linéarité de la relation de cointégration entre les indices de prix.

L'hypothèse d'une relation de cointégration entre les indices de prix est testée grâce aux procédures standards d'Engle et Granger (1987). Si le résidu est stationnaire, les indices de prix sont cointégrés; ils sont liés par une relation d'équilibre stable. Cependant, le résidu peut ne pas être stationnaire à cause des chocs permanents de progrès technique ou de demande ou des chocs sur les politiques d'intervention. Il est alors difficile de conclure que les prix sont cointégrés alors qu'ils le sont peut-être.



L'analyse d'une relation de cointégration asymétrique nécessite au préalable d'effectuer un test de cointégration avec rupture qui permet de déterminer de manière endogène une date de rupture dans la relation de long terme. Cependant, le seuil peut être déterminé de façon exogène. L'asymétrie de la transmission est alors décrite par les modèles à seuil. Le terme de correction d'erreur est décrit par un modèle TAR (*Threshold Autoregressive*) avec un seuil unique. L'hypothèse selon laquelle le terme à correction d'erreur est décrit par un processus TAR est testée grâce à un test de cointégration asymétrique. Enders et Granger (1998) et Enders et Siklos (2001) ont modifié le test de cointégration standard de Dickey-Fuller afin de tester l'hypothèse d'une relation de cointégration entre les prix sans maintenir l'hypothèse de symétrie dans l'ajustement de long terme.

En effet, le test standard de Dickey-Fuller basé sur l'hypothèse d'ajustement symétrique peut avoir tendance à rejeter l'hypothèse de prix cointégrés en présence d'asymétrie dans la relation de cointégration. Le test de cointégration repose sur l'hypothèse d'asymétrie, on a :

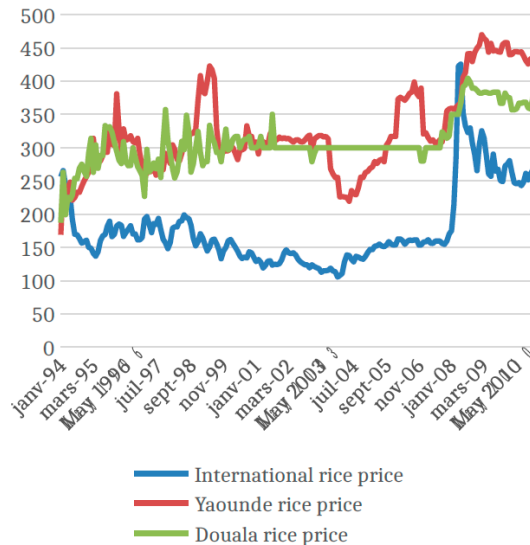
$$\Delta \varepsilon_t = I_t \rho_1 \varepsilon_{t-1} + (1 - I_t) \rho_2 \varepsilon_{t-1} + \sum \phi_k \Delta \varepsilon_{t-k} + v_t \quad \text{Eq. (1)}$$

Si les coefficients  $\rho_1$  et  $\rho_2$  sont négatifs, l'hypothèse de cointégration entre les prix est acceptée. Enders et Siklos (2001) recourent à 2 tests : un t-max<sup>1</sup> pour tester l'hypothèse selon laquelle ces 2 coefficients sont négatifs et un F-test pour tester l'hypothèse selon laquelle les 2 coefficients sont non nuls. Lorsque le test d'Enders et Siklos (2001) détecte la présence d'une asymétrie dans la relation de cointégration entre les prix, il est ensuite possible d'estimer un modèle à correction d'erreur dans lequel la vitesse d'ajustement du prix dépend de la nature du déséquilibre.

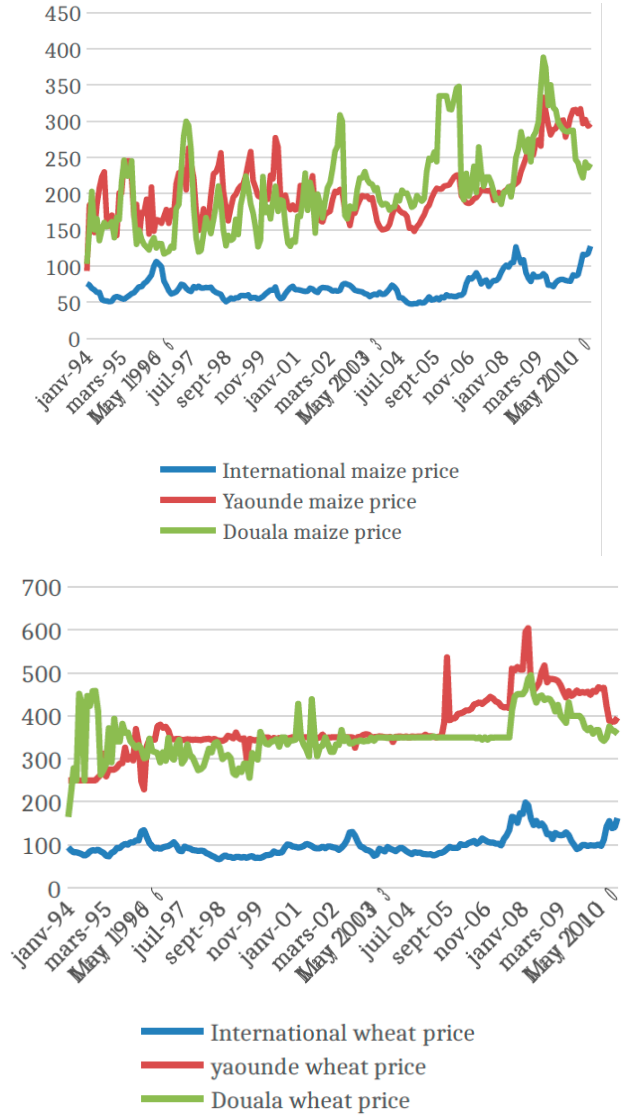
$$\Delta P_t^d = \eta + I_t \lambda^+ \varepsilon_{t-1} + (1 - I_t) \lambda^- \varepsilon_{t-1} + \sum_{k=0}^l \alpha_k \Delta P_{t-k}^w + \sum_{k=1}^m \beta_k \Delta P_{t-k}^d + v_t \quad \text{Eq. (2)}$$

### 3. Résultats

L'analyse descriptive des séries d'indices de prix permet de montrer des similarités dans l'évolution des indices de prix entre le marché international et les marchés de Yaoundé et Douala (Figure 1).



<sup>1</sup> C'est la plus grande valeur des 2 statistiques individuelles t de Student.



**Figure 1.** Évolution mensuelle des prix des céréales sur les marchés Camerounais et internationaux de 1994 à 2010.

**Tableau 1.** Test d’Engle et Granger.

Séries	Coefficients	t-statistiques
Yaoundé	$\alpha_0$	90.63767***
	$\alpha_1$	0.94713***
Douala	$\alpha_0$	126.2845***
	$\alpha_1$	0.70591***

Source : À partir de R. \*\*\* (\*\*) [\*] indiquent la significativité à 1 % (5%) [10%].

L'hypothèse de stationnarité des résidus est acceptée dans le cas de Yaoundé et Douala. On conclut que les indices de prix des céréales sur le marché international et sur les marchés de Yaoundé et Douala sont bien cointégrés. Les indices de prix se transmettent donc du marché international aux marchés de Yaoundé et Douala; les élasticités de transmission étant respectivement de 0.94 et 0.7. Le modèle à correction d'erreur symétrique peut être spécifié; les résultats sont donnés dans le tableau 2.

**Tableau 2.** Modèle à correction d'erreur standard.

Séries		Coefficients	t-statistiques
Yaoundé	$\lambda$	-0.069***	-2.779
	$\alpha_0$	-0.076	-0.745
	$\alpha_1$	-0.206**	-1.989
Douala	$\lambda$	-0.1709***	-3.9751
	$\alpha_0$	0.0616	0.6197
	$\alpha_1$	0.0938	0.9386

Source : À partir de R. \*\*\* (\*\*) [\*] indiquent la significativité à 1 % (5 %) [10 %].

Le modèle à correction d'erreur symétrique est valide car la force de rappel  $\lambda$  est bien négative et significative. Les indices de prix des céréales sur les marchés de Yaoundé et Douala s'ajustent à l'indice des prix des céréales sur le marché international. Pour vérifier l'hypothèse de transmission asymétrique des prix, nous effectuons les tests d'Enders et Granger (1998) et d'Enders et Siklos (2001) (Tableau 3).

**Tableau 3.** Estimation du modèle TAR.

Séries		Coefficients	t-statistiques
Yaoundé	$\rho_1$	-0.181	-4.043
	$\rho_2$	-0.068	-1.753
	$\rho_1 = \rho_2$ Wald = 3.6825 Prob = 0.05642 F = 7.1222		
Douala	$\rho_1$	-0.251	-4.72
	$\rho_2$	-0.206	-3.70
	$\rho_1 = \rho_2$ Wald = 0.340 Prob = 0.5602 F = 17.98		

Source : À partir de R. \*\*\* (\*\*) [\*] indiquent la significativité à 1 % (5 %) [10 %].

La statistique t-max tabulée par Enders et Siklos (2001) permet d'établir que les coefficients  $\rho_1$  et  $\rho_2$  sont significativement négatifs au seuil de 5 % dans les deux marchés. De même le F-test montre également que ces deux coefficients sont significativement non nuls au seuil de 5 % pour les deux marchés. L'hypothèse de cointégration est donc confirmée dans ces deux marchés. Cependant, le test de Wald permet de rejeter l'hypothèse d'égalité des deux coefficients au seuil de 10 % uniquement dans le marché de Yaoundé. Un modèle à correction d'erreur asymétrique peut donc être spécifié. Par contre dans le cas du marché de Douala l'hypothèse de cointégration asymétrique est rejetée car les deux coefficients ne sont pas significativement différents. Le modèle à correction d'erreur asymétrique n'est donc pas spécifié dans ce cas.

En effet la vitesse d'ajustement des indices de prix suite à une baisse des prix sur le marché international est significative et supérieure (en valeur absolue) à la vitesse d'ajustement à la suite d'une hausse des prix. Le retour à l'équilibre est par conséquent plus rapide lorsque l'indice de prix des céréales sur le marché local est inférieur à sa valeur d'équilibre.

**Tableau 4.** Modèle à correction d'erreur asymétrique : cas des marchés de Yaoundé.

	Coefficients	t-statistiques
$\eta$	1.54	2.111
$\lambda^+$	-0.030	-0.890
$\lambda^-$	-0.133	-3.192
$\alpha_0^+$	-0.267	-1.801
$\alpha_0^-$	0.131	0.690
$\beta_0^+$	-0.230	-2.363
$\beta_0^-$	0.164	1.308

Source : À partir de R. \*\*\* (\*\*) [\*] indiquent la significativité à 1 % (5 %) [10%].

## 4. Discussion des résultats

Les résultats confirment la transmission asymétrique des prix. À Yaoundé, les prix des céréales sont constamment au-dessus de leur valeur d'équilibre. L'instabilité des prix internationaux des céréales qui se transmet aux marchés camerounais contribue à augmenter le nombre de personnes sous-alimentées. En effet, l'instabilité des prix conduit à une instabilité du pouvoir d'achat (si les revenus ne s'ajustent pas) ce qui affecte négativement l'accès aux produits alimentaires. Les effets se répercutent aussi bien au niveau des consommateurs que des producteurs. Les analyses de Temple et Dury (2003) confirment cet effet pervers de l'instabilité des prix sur la sécurité alimentaire au Cameroun. Cependant, si l'instabilité des prix peut être endogène aux marchés locaux comme il en ressort de leurs analyses, cette étude montre que l'instabilité peut également être importée des marchés internationaux.

Les résultats permettent également de nuancer les conclusions selon lesquelles le commerce alimentaire se solde par une baisse des prix dans les pays en développement due aux réductions tarifaires. Les économies capables d'amortir les chocs de prix pourraient tirer un véritable profit de l'ouverture. Mais cela n'est pas le cas des « petites économies » comme le Cameroun. La sécurité alimentaire doit par conséquent s'inscrire dans des politiques globales de croissance et de développement agricole dans les pays en développement peu compétitifs sur les marchés internationaux. Il est donc nécessaire de déconnecter les marchés urbains camerounais des marchés internationaux très instables. Cela peut se faire par des interventions directes des pouvoirs publics à court et moyen terme en vue de stabiliser des prix des biens alimentaires produits localement ou par l'augmentation de l'offre alimentaire nationale dans une optique de long terme.

## 5. Conclusion

Somme toute, la dépendance aux marchés alimentaires internationaux se traduit par une transmission asymétrique des prix aux marchés céréaliers camerounais, notamment ceux de Yaoundé. Ce qui pourrait détériorer la consommation alimentaire des populations pauvres. En effet, elles ont tendance à acheter les produits alimentaires à faible valeur calorifique lorsque leur pouvoir d'achat se détériore. Il est alors urgent de mettre un accent particulier sur le développement de l'agriculture camerounaise. Plus précisément il faut relancer la production vivrière et la productivité agricole. L'accroissement de la productivité agricole doit être accompagné d'une bonne gestion des terres et des ressources mises à la disposition des exploitants agricoles. Ainsi, une meilleure gouvernance dans le secteur agricole est une condition nécessaire de l'intensification agricole. Mais il est prioritaire de stabiliser dans un premier temps les prix alimentaires par une meilleure utilisation et canalisation des forces de

marché c'est-à-dire par un meilleur fonctionnement et une plus grande intégration des marchés alimentaires intérieurs. Cependant, il faudra veiller à ce que les prix restent tout aussi incitatifs pour les producteurs de denrées alimentaires ; faute de quoi ils risqueraient de se tourner vers d'autres activités agricoles. Cela est possible par un ajustement des revenus des populations afin d'améliorer leur pouvoir d'achat. La mise en place des systèmes d'alerte précoce en vue de réguler les prix agricoles est l'un des moyens de stabiliser leur pouvoir d'achat. La création des agences de régulation des prix et des banques de céréales en zones rurale et urbaine, et même à l'échelle du district et du ménage trouve alors tout son intérêt.

Le développement de l'agriculture doit également s'accompagner de l'amélioration des infrastructures en milieu rural et des moyens de transport afin d'assurer un meilleur approvisionnement en denrées alimentaires et en intrants agricoles.

## Bibliographie

- Abdulai A., 2000. Spatial price transmission and asymmetry in the Ghanaian maize market. *Journal of Development Economics*, **63**, 327-349.
- Bailey D.V., Brorsen B.W., 1989. Price asymmetry in spatial fed cattle markets. *Western Journal of Agricultural Economics*, **14**, 246-252.
- Enders W., Granger C., 1998. Unit-root tests and asymmetric adjustment with an example using the term structure of interest rates. *Journal of Business and Economic Statistics*, **16**, 304-311.
- Enders W., Siklos P., 2001. Cointegration and threshold adjustment. *Journal of Business and Economic Statistics*, **19**, 166-176.
- Engle R.F., Granger C.W., 1987. Cointegration and Error Correction: Representation, Estimation and Testing. *Econometrica*, **55**, 251-276.
- Maros I., Will M., 2008. Assurer la sécurité alimentaire. *Finances et développement*, **45**, 37-39.
- Meyer J., Von Cramon-Taubadel S., 2004. Asymmetric Price Transmission: A Survey. *Journal of Agricultural Economics*, **55**(3), 581-611.
- MINADER, 2006. *Bilan alimentaire 2003/2006*. Ministère de l'Agriculture et du Développement rural, Yaoundé.
- Nash J., Mitchell D., 2005. Libéraliser les échanges pour nourrir les pauvres. *Finances et Développement*, **42**(1), 34-37.
- Temple L., Dury S., 2003. *Instabilité des prix des produits vivriers et sécurité alimentaire urbaine au Cameroun*. Cirad, Montpellier, France.
- Ward R.W., 1982. Asymmetry in retail, wholesale and shipping point pricing for fresh vegetables. *American Journal of Agricultural Economics*, **62**, 205-212.



## Stratégie des «boutiques témoins» contre l'insécurité alimentaire au Bénin : efficacité et perspectives pour l'Afrique

Houngbo N. Emile, École Nationale Supérieure des Sciences et Techniques  
Agronomiques de Kétou, Cotonou, République du Bénin,  
E-mail : enomh2@yahoo.fr

### Résumé

Face à la crise alimentaire survenue dans les années 2007-2008, entraînant la raréfaction des stocks de denrées alimentaires de base comme le maïs, le riz et le sorgho, le gouvernement du Bénin a mis en place en juillet 2008 la stratégie des boutiques témoins (BT) qui fonctionnent à ce jour. Les BT sont gérées par l'Office National d'Appui à la Sécurité Alimentaire (ONASA). L'objectif de cette étude est d'analyser l'efficacité de ces BT face à la crise et leur capacité potentielle pour la lutte contre l'insécurité alimentaire et la pauvreté. L'étude a porté sur les cinq boutiques témoins des cinq Communes du Département du Plateau au sud-est Bénin. Les données et informations collectées au moyen de séances de *focus group* sur chaque BT, d'enquêtes structurées auprès de 20 personnes par Commune et d'entretiens informels, permettent de dégager que les boutiques témoins ont été efficaces dans la résolution de la crise. Elles ont permis entre autres une meilleure couverture géographique du territoire national en vivres, la création d'emplois, la promotion de la consommation des produits vivriers locaux, en l'occurrence le riz, et la facilitation de l'écoulement du riz des producteurs agricoles. Cependant, l'efficacité à long terme de la stratégie des boutiques témoins n'est pas garantie dans les conditions actuelles. L'ONASA a tendance à se comporter en quasi-monopsonne lors de l'achat du riz des producteurs. Le prix qu'il fixe est jugé désavantageux par les organisations de producteurs de riz. De plus, la forte subvention des produits vendus dans les BT n'est plus de nature à encourager la commercialisation et la production locale du riz. L'ONASA devra corriger ces deux faiblesses pour espérer une résolution durable de la question de l'insécurité alimentaire et de la pauvreté rurale au Bénin. Ce faisant, l'initiative pourrait servir de modèle pour d'autres pays africains.

### The strategy of witness shops against food insecurity in Benin: effectiveness and prospects for Africa

As a response to the food crisis occurred in the years 2007-2008, resulting in the depletion of stocks of staple foods such as maize, rice and sorghum, the Government of Benin has set up in July 2008 the Strategy of witness shops (WS) that exist until today. The WS are managed by the Office of National Support for Food Security (ONASA). The objective of this study is to analyze the effectiveness of WS against the crisis and their potential capacity for the fight against food insecurity and poverty in the future. The study focused on five witness shops of the five Districts of Plateau Department, south-eastern Benin. The data and information collected through focus group sessions on each WS, structured survey of 20 persons in each District and informal interviews allow identifying that the witness shops were effective in solving the crisis. They had among others a better geographical coverage of the national territory of staple foods, job creation, promotion of local food crops consumption, especially rice, and facilitating the flow of rice farmers. However, the long-term effectiveness of the strategy of witness shops is not guaranteed under the current conditions. The ONASA tends to behave like a quasi-monopsony on the purchase of rice for the farmers. The price fixed is being considered as disadvantageous by the rice producers' organizations. In addition, the highly subsidized products sold in the WS could not encourage rice local production and marketing. The ONASA should correct these weaknesses in order to hope for a sustainable resolution of the issue of food insecurity and rural poverty in Benin. In doing so, the initiative could serve as a model for other African countries.



## 1. Introduction

La sécurité alimentaire est au cœur du développement. Elle permet de forger les ressources humaines indispensables au développement. Le développement du capital humain constitue à la fois un outil essentiel pour assurer une croissance économique soutenue et lutter contre la pauvreté. En effet, la sécurité alimentaire et la croissance économique interagissent dans un processus qui se renforce mutuellement au cours du développement (Fogel, 2004). D'où l'intérêt de l'objectif 1 des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) qui est « d'éliminer l'extrême pauvreté et la faim » à l'horizon 2015 (Nations Unies, 2013). L'insécurité alimentaire des ménages est désormais reconnue comme un problème de santé publique au Canada (Campbell, Desjardins, 1989), et également comme un problème social grave (Riches, 1997). Au-delà de considérations humaines fondamentales, la malnutrition pénalise lourdement les capacités des individus, l'énergie qu'ils peuvent consacrer à l'activité, et par conséquent la croissance économique (Fogel, 2004). Malheureusement, de nombreux pays dans le monde en développement, notamment en Afrique et en Asie du Sud, n'ont pas réussi à réaliser cet exploit. Par rapport à 2010, la production alimentaire en Afrique doit être multipliée par 5,14 (Vindel, Jacquet, 2010). Selon FAO (2009), le nombre de personnes sous-alimentées dans le monde est passé de 850 millions en 2005-2007 à 915 millions en 2008, et 925 millions en 2010, après un pic de 1,02 milliard en 2009. La proportion de personnes sous-alimentées dans les pays en développement, qui avait été divisée par deux entre la fin des années 1960 et la fin des années 1990, s'est depuis stabilisée, au-dessus de 15%. La malnutrition est fortement concentrée dans deux grandes zones : l'Asie-Pacifique, avec 578 millions de sous-alimentés en 2010, et l'Afrique sub-saharienne, avec 265 millions (FAO, 2009). Elle a progressé en Afrique au cours de la dernière décennie : elle touchait 200 millions de personnes à la fin des années 1990, soit 28% de la population totale, contre 170 millions de personnes au début des années 1990 (Bertheliet et al., 2004). L'insécurité alimentaire va rester très préoccupante en Afrique au cours des trois prochaines décennies : il y aura plus de bouches à nourrir, et plus rapidement qu'ailleurs (RuralStruc, 2010). La population du continent africain pourrait dépasser 2 milliards d'habitants au milieu du 21<sup>e</sup> siècle. La population rurale restera majoritaire jusqu'en 2030 environ, situation unique par rapport au reste du monde, où la population urbaine est plus nombreuse depuis 2007. Mais la vitesse d'urbanisation est importante.

Au Bénin, la crise alimentaire des années 2007-2008 s'est manifestée par la raréfaction des stocks de denrées alimentaires de première nécessité sur les marchés des grandes villes ; ce qui a entraîné un renchérissement des prix de ces produits (Adanguidi, 2010). L'année 2008 a été une année particulière où le prix du maïs a atteint un niveau record jamais égalé par le passé. C'est alors que le gouvernement du Bénin a pris la décision d'installer en juillet 2008, des comptoirs de vente de produits vivriers de grande consommation comme le maïs, le riz et le sorgho dans toutes les 77 Communes du pays, à travers le Programme National des Magasins Témoins de l'Office National d'Appui à la Sécurité Alimentaire. Ces comptoirs de vente ont été appelés des « boutiques témoins » où la vente des produits vivriers devait se faire à des prix référentiels (Adanguidi, 2010). Ces boutiques témoins constituent-elles une stratégie endogène, crédible, simple, susceptible d'assurer l'intensification de la consommation intérieure des produits locaux et d'améliorer la sécurité alimentaire ? À quelles conditions pourront-elles conserver durablement leur efficacité et constituer un exemple pour l'Afrique ? Particulièrement, quels enseignements particuliers et quelles perspectives présente cette initiative des boutiques témoins pour la sécurité alimentaire en Afrique ? C'est de ces questions que traite cet article dont l'objectif est d'analyser l'efficacité face à la crise et la capacité potentielle des boutiques témoins pour la lutte future contre l'insécurité alimentaire et la pauvreté.

## 2. Matériels et méthode

### 2.1. Cadre théorique

La théorie du cercle vicieux de la pauvreté de Ragnar Nurkse (Kregel, 2007), considéré comme l'un des pionniers de l'économie du développement, a servi de cadre théorique et servi de base d'analyse et de réflexion dans cette étude. Cette théorie stipule que les pays sous-développés, en raison de la faiblesse de la demande interne liée aux faibles revenus, sont dans l'incapacité de lancer des projets d'investissement rentables et capables de déclencher le processus de développement. Du côté de l'offre, la faible capacité d'épargne résulte du bas niveau de revenu réel qui lui-même reflète la faible productivité qui résulte, à son tour, du manque de capital, un manque de capital qui lui-même est le résultat de la faible capacité d'épargne; ainsi, le cercle est fermé. Dans le cas de cette étude, cette théorie a été adaptée à la situation à l'échelle nationale du Bénin et questionne surtout la consommation interne des denrées agricoles de base, produites localement. On postule qu'une forte consommation interne de ces denrées devrait améliorer substantiellement la sécurité alimentaire et nutritionnelle, réduire le risque de commercialisation des productions agricoles et relever par ricochet le niveau de revenu des producteurs.

### 2.2. Zone d'étude

L'étude a été réalisée dans le Département du Plateau au sud-est du Bénin; un département essentiellement rural qui regroupe les Communes de Kétou, de Pobè, d'Adja-Ouèrè, de Sakété et d'Ifangni. Chacune des cinq Communes a été dotée en 2008 d'une boutique témoin par l'Office National d'Appui à la Sécurité Alimentaire (ONASA), soit au total cinq boutiques témoins qui ont été étudiées. Les boutiques témoins sont gérées par l'ONASA, une institution publique créée par le décret N°92-271 du 23 septembre 1992. L'ONASA a pour objectif spécifique de «lutter efficacement contre la faim et éviter au Bénin les crises alimentaires en rendant disponibles et accessibles aux ménages vulnérables et en insécurité alimentaire les produits vivriers de qualité et les informations adéquates pour leur utilisation.» Le rôle des boutiques témoins est de contribuer à augmenter (durablement) l'offre locale et rendre disponibles et accessibles à des prix référentiels, les produits vivriers de grande consommation tels que le maïs, le riz et le sorgho. Au total 86 boutiques témoins ont été installées dans l'ensemble des douze (12) Départements du Bénin.

### 2.3. Collecte et analyse des données

L'approche participative de collecte et d'analyse des informations a été privilégiée dans cette étude, axée sur la découverte d'un nouvel instrument de politique alimentaire de l'État. Des séances de collecte d'informations ont été organisées systématiquement au niveau de chacune des cinq boutiques témoins étudiées (BT). La collecte des informations a été faite au moyen de séances de *focus group* de onze personnes : les trois membres du personnel de la boutique témoin (le gérant, l'assistant et le gardien) et huit habitants (4 hommes et 4 femmes) de la Commune. En effet, les boutiques témoins sont gérées sur le terrain par un personnel de trois agents; mais elles reçoivent des appuis importants et des instructions venant de la Direction Générale de l'ONASA basée à Cotonou. C'est pourquoi les séances de *focus group* au niveau des boutiques témoins ont été complétées par une sixième séance de *focus group* organisée à la Direction Générale de l'ONASA pour compléter et vérifier les informations recueillies. Chaque séance a été conduite au moyen d'un guide d'entretien préalablement élaboré. Il s'est agi de procéder à l'analyse participative SEPO (Succès-Échecs-Potentialités-Obstacles) afin d'identifier avec l'ensemble des participants, les éléments de réussite de l'initiative et les points qui restent à améliorer en matière de la mise en œuvre de la stratégie des boutiques

témoins. L'analyse SEPO a ainsi été faite sur chaque boutique, puis un travail de synthèse a permis de dégager les principaux résultats. Une étape particulière dans cette étude a été d'analyser certaines pratiques actuelles contenues dans la stratégie des boutiques témoins en rapport avec sa prédisposition à conserver et à améliorer sur le long terme ses effets positifs sur le développement agricole du Bénin. En plus des séances de *focus group*, vingt habitants ont été enquêtés dans les environs des boutiques témoins dans chaque Commune pour recueillir la perception des populations sur les BT. Des entretiens informels ont été aussi effectués à l'intérieur des Communes pour des compléments d'informations. La phase de collecte des informations a duré du 5 octobre au 27 novembre 2012 (période d'abondance des produits), puis d'avril à mai 2013 (période de soudure).

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Résultats

#### 3.1.1. Succès réalisés par les BT au plan socio-économique

Les boutiques témoins ont joué un rôle très apprécié dans la lutte contre l'insécurité alimentaire depuis leur création en 2008. Principalement, elles ont permis d'assurer une mise à disposition d'aliments de base en temps réel et à proximité des populations. La fonctionnalité des boutiques témoins a eu pour conséquence la promotion de la consommation des produits vivriers locaux béninois, en l'occurrence le riz local autrefois rejeté au profit des riz importés. Cette consommation de riz local a permis de garantir le marché national pour l'écoulement du riz local du pays et un revenu moins aléatoire pour les producteurs. Ceci a donné un certain coup de fouet à l'organisation de la filière riz au Bénin.

Avec les BT, la visibilité de l'ONASA s'est aussi accrue. On constate maintenant la présence permanente de l'ONASA dans toutes les Communes du Bénin. L'ONASA n'est plus confiné dans les seules villes de Cotonou et de Parakou, avec des actions ponctuelles dans les Communes rurales. La création des boutiques témoins a eu aussi comme corollaire la création d'emplois. Le recrutement de 261 agents pour les animer sous-tend un impact positif sur la consommation des ménages et l'économie nationale. L'analyse des résultats d'enquête permet de constater aussi un meilleur accès aux vivres de grande consommation dans les Communes. Elle permet de se rendre compte que tous les habitants de la zone d'étude apprécient l'implantation des BT. De même, une bonne majorité (72%) des enquêtés a pu acheter des vivres dans les BT à ce jour, comme l'indique le tableau 1.

**Tableau 1.** Appréciations et accès des populations aux boutiques témoins.

Commune	Proportion des enquêtés appréciant l'implantation des BT (%)	Proportion des enquêtés ayant acheté des vivres dans les BT (%)
Ifangni	100	80
Sakété	100	70
Pobè	100	70
Adja-Ouèrè	100	90
Kétou	100	50

On constate que l'accès a été plus élevé dans la Commune d'Adja-Ouèrè. Ce qui pourrait s'expliquer par le fait que la Commune d'Adja-Ouèrè, la plus enclavée du Département du Plateau, est la Commune où le besoin d'aller s'approvisionner dans la BT est plus préoccupant. La contraposée de cet argument expliquerait la situation des Communes de Sakété et de Pobè qui sont les plus accessibles et les plus ouvertes sur les grands marchés urbains de Porto-Novo et de Cotonou. Les grands centres urbains représentent généralement le point de convergence

des produits agricoles à tel point que les produits finissent par y être moins chers que dans les villages.

### ***3.1.2. Effets des BT sur les producteurs de riz et leurs organisations***

L'organisation de la production et de la commercialisation du riz local est assurée depuis quelques années par les Entreprises de Services et Organisations de Producteurs (ESOP) dont l'objectif est de développer l'agriculture familiale par la promotion de circuits agroalimentaires locaux compétitifs et rémunérateurs pour les petits producteurs. Les ESOP accompagnent les producteurs de riz pendant la production et s'impliquent dans la commercialisation après la récolte. La mise en œuvre de la stratégie des boutiques témoins a amené l'ONASA à s'approvisionner en riz local auprès de l'ESOP Lalo, avec tous les effets positifs que cela comporte sur l'écoulement de la production locale en riz des producteurs agricoles. Un contrat de partenariat est aussi en cours avec l'ESOP Vallée de l'Ouémé. Il faut noter que huit ESOP sont constituées au Bénin : Lalo, Vallée de l'Ouémé, Djidja, Tchetti, Glazoué, Savalou, Djakotomey et Bantè (CIDR-ETD, 2010).

### ***3.1.3. Efficacité des BT dans la résorption de la crise***

Les boutiques témoins ont constitué un dispositif formel et public de gestion des crises alimentaires au Bénin, en particulier la crise alimentaire de 2008. Les BT sont devenues des points de gestion rapprochée des crises alimentaires et des lieux de contact des populations vulnérables avec les agents techniques de l'ONASA qui s'est ainsi rendu plus accessible et plus utile. C'est ainsi que les opérations de distribution des divers dons de vivres venant notamment de l'étranger (don japonais, ...) et les actions urgentes face aux catastrophes dans le cadre de l'opération «Solidarité Nationale pour la Sécurité Alimentaire, SNSA» ont pu être rapides et efficaces.

### ***3.1.4. Potentiel d'efficacité à long terme des boutiques témoins***

Au-delà de l'efficacité ponctuelle prouvée de la stratégie des boutiques témoins, il importe d'analyser en profondeur l'approche et les actions qui continuent de s'y développer pour apprécier la durabilité des impacts dans le temps. En effet, la durabilité de l'efficacité des actions des BT suppose que les mesures adoptées avantagent à la fois les consommateurs et les producteurs des produits locaux concernés. À ce niveau, deux points importants restent à améliorer substantiellement : la rupture fréquente de l'approvisionnement des BT et la mauvaise fixation des prix pratiqués dans les BT.

La plupart des personnes interviewées à l'intérieur des Communes soulignent l'insuffisance fréquente des produits dans les BT. Ce qui prouve que l'engouement suscité pour la consommation locale est handicapé par la rupture de l'approvisionnement des boutiques. Cette situation décourage déjà bon nombre des populations qui trouvent que se déplacer de loin pour se rendre dans les BT est une peine perdue. Et c'est dommageable que de telles appréciations commencent par naître, car l'élan de la consommation locale pourrait ainsi être freiné. En effet, vu les prix très bas pratiqués dans les BT, les ménages non vulnérables envahissent ces boutiques et s'approvisionnent en quantités importantes au détriment des ménages vulnérables à qui les produits sont prioritairement destinés. Il s'ensuit qu'après la période de crise qui a connu un approvisionnement suffisant des BT, les ménages pauvres sont maintenant pénalisés du fait que leur sécurité alimentaire continue d'être menacée. L'ONASA se doit donc de bien approvisionner les boutiques. Il pourrait à cet effet se concentrer uniquement sur la période de soudure pour l'approvisionnement des boutiques, soit de février à juin de chaque année. Ainsi, ses actions pourraient ainsi couvrir aussi d'autres produits agricoles saisonniers tels que la tomate, l'orange, l'oignon et la mangue dont des quantités importantes sont gaspillées chaque année, puisqu'il se pose ici aussi le problème de comment garantir une consommation

continue et échelonnée de ces produits sur toute l'année. Mais, cela demande que l'ONASA réajuste sa stratégie des BT pour la transformer en un instrument de réponse structurelle au problème d'insécurité alimentaire.

En effet, la stratégie des BT semble toujours être conduite comme une solution conjoncturelle à une situation de crise. Or, ce n'est plus le cas maintenant. On doit penser à comment parvenir à un fonctionnement autonome et durable de la stratégie. En particulier, la forte subvention des produits adoptée au moment de la crise devrait céder la place à des approches qui avantagent à la fois les consommateurs et les producteurs agricoles. Face à la crise, les BT avaient permis d'offrir des débouchés aux producteurs, mais maintenant, l'ONASA a tendance à se comporter en quasi-monopsonne pour fixer des prix désavantageux aux produits des producteurs commercialisés par les ESOP. L'opération Solidarité Nationale pour la Sécurité Alimentaire (SNSA) développée en 2012 a repris encore en cette année 2013, avec pour corollaire la très forte subvention des produits. Grâce à l'opération SNSA, le maïs est maintenant vendu à 125 FCFA/kg et le riz à 200 FCFA/kg dans les BT, contre respectivement 156 FCFA/kg et 320 FCFA/kg en temps ordinaire. Cet état de choses amène les organisations ESOP à considérer progressivement l'ONASA comme un concurrent déloyal plutôt qu'un partenaire privilégié comme cela avait commencé. Or, les huit ESOP du Bénin pourraient constituer des sources d'approvisionnement privilégiées de l'ONASA et des couloirs d'appuis aux producteurs de riz à la base. L'ONASA ne doit pas empêcher la concurrence de se faire, afin de permettre à tous les acteurs des filières concernés de vivre de leurs activités respectives. Il serait alors bon que, sans sortir de son rôle d'appui à la sécurité alimentaire, l'ONASA ne se constitue pas en obstacle au bon fonctionnement du marché, gage de l'intérêt simultané pour producteurs et consommateurs. Il ne doit pas de ce fait s'écarter trop du prix du marché. Il pourrait alors acheter le riz en période d'abondance au prix du marché, et donc sans désavantager les ESOP et leurs producteurs. C'est ce qui permettrait aux producteurs de continuer à exister avec un revenu satisfaisant qui leur permettrait d'investir convenablement et donc de développer leurs activités agricoles. La subvention de l'ONASA pourrait se limiter aux charges de conservation des produits achetés (riz, maïs, sorgho) pendant la période d'abondance, pour la revente en période de soudure (février à juin). Ainsi, au lieu qu'il vende en ce moment le riz local long grain à 200 FCFA/kg, il pourrait le vendre au prix coûtant qu'il estime lui-même à 420 FCFA/kg, pendant que le prix du même produit vendu par les ESOP est à 520 FCFA/kg. Il s'ensuit qu'il y aurait toujours une différence de prix à l'avantage des ménages vulnérables, mais cette différence de prix serait relativement réduite et les ménages non vulnérables laisseraient plus de places aux démunis dans les BT et s'approvisionneraient auprès des ESOP à 520 FCFA/kg, alors que le prix du riz importé est en moyenne de 1000 FCFA/kg en ce moment crucial de soudure (avril-juin). Ce faisant, les BT passeraient progressivement d'un instrument de réponse conjoncturelle à un instrument de réponse structurelle à la lutte contre l'insécurité alimentaire et la pauvreté rurale au Bénin.

## 3.2. Discussion

Plusieurs études antérieures ont traité de la question de la malnutrition et de la sécurité alimentaire au Bénin, en Afrique et dans le monde. Sen (1982) a montré que la sous-alimentation résulte principalement d'un manque d'accès à la nourriture, mais le volet de production agricole des denrées alimentaires n'en apparaît pas moins capital. Le Bénin est autosuffisant pour plusieurs spéculations à savoir le manioc, l'igname, le maïs et le niébé et assimilés. Par rapport à la pomme de terre, le taux d'autosuffisance est passé de moins de 96 % en 2005 à plus de 98 % entre 2006 et 2008 avant de connaître une légère baisse en 2009. Pour les produits tels que le riz, les viandes en général et les produits de pêche, on note une plus forte dépendance du pays aux importations. Cette dépendance est très forte pour le riz. En effet, le taux d'autosuffisance a été inférieur à 20 % sur la période de 2005 à 2008 avec une

légère hausse en 2009 (22,11 %). Elle est moins poussée pour les viandes et les produits de pêche avec des taux d'autosuffisance plus élevés que celui du riz (DPP/MAEP, 2010).

Pour la FAO (2006), les troubles politiques et les conflits armés, principaux freins au développement agricole et à l'amélioration de la sécurité alimentaire, ont empêché les agriculteurs de produire, entraîné des déplacements de population, détruit les infrastructures et miné les campagnes. L'Afrique subsaharienne est la seule région du monde où l'on prévoit une aggravation du problème de la faim au cours des 20 prochaines années si des mesures radicales ne sont pas prises pour instaurer la paix, améliorer la gouvernance et atteindre le niveau de développement économique nécessaire pour inverser la tendance actuelle. Cet auteur occulte cependant le potentiel de la promotion de la sécurité alimentaire par la valorisation des produits vivriers locaux en Afrique à travers l'intensification de la consommation intérieure (FAO, 2006). Bertheliet et al. (2004) soulignent à cet effet que le faible développement des infrastructures et des ressources humaines en zones rurales se combine à des politiques agricoles indécises qui n'ont pas assuré une bonne cohérence entre les incitations en matière de prix agricoles et les autres volets politiques agricoles : investissements publics, vulgarisation et structuration des marchés. Avec le potentiel des BT, il importe que le bon fonctionnement du marché soit préservé pour induire les incitations possibles pour la production de vivres. En effet, Schwartz (2000) rapporte que «Le développement de la culture du coton dans les savanes de l'Afrique subsaharienne ne se fait ni au détriment de la culture vivrière, ni au préjudice de l'environnement.», pendant que Bessis relevait en 1985 que les cultures de rente ne sont pas forcément concurrentes des cultures vivrières, mais les méthodes employées et les buts poursuivis les ont mises en concurrence directe. Ainsi, Vindel et Jacquet (2010) notent que malgré l'apparent consensus international en faveur de l'agriculture pour le développement (et au-delà en faveur de la sécurité alimentaire), des controverses demeurent. La controverse porte sur la concentration de l'action des États sur la fourniture de biens publics «purs» ou sur l'intervention plus ou moins directe sur les marchés agricoles pour réduire leur volatilité. La stratégie des boutiques témoins s'avère ainsi pertinente du fait qu'elle peut avoir un effet d'entraînement sur la production et la croissance agricoles. Mais, la politique des prix pratiqués doit être revue. Car, appréciant l'efficacité des subventions appliquées au riz suite à la crise de 2007-2008 au Bénin, Oloukoï et Adégbola (2010) rapportent que le seul acteur qui bénéficierait réellement de cette mesure est le consommateur. La subvention, en augmentant l'offre nationale en riz, entraîne la baisse des prix de vente et par conséquent poussent les producteurs locaux à délaisser la production rizicole locale.

## 4. Conclusion

Les boutiques témoins sont nées suite à la crise alimentaire de 2007-2008. Elles constituaient de ce fait une solution d'urgence, mais au-delà des mesures conjoncturelles adoptées à l'époque et auxquelles elles ont servi (SNSA, don japonais, ...), elles doivent évoluer maintenant pour devenir un instrument de politique structurelle. Des mesures doivent être prises dans le sens de la réduction des subventions affectées au riz notamment, pour éviter que dans leur fonctionnement, les BT n'empêchent pas le marché des produits locaux concernés de fonctionner plus ou moins bien et que la concurrence se fasse. C'est à ce prix que l'ONASA parviendra à une solution durable au regard de son ambition de promouvoir les productions locales et la sécurité alimentaire. L'élément fondamental à préserver est la disponibilité sur toute l'année et l'atténuation des prix de ces denrées en périodes de soudure (février-juin) et surtout d'avril à juin. À cet effet, des actions de responsabilisation suffisante et d'accompagnement des ESOP sont potentiellement plus durables. Un partenariat gagnant-gagnant entre l'ONASA à travers ses BT et les ESOP serait plus bénéfique au plan macroéconomique. Aussi, la stratégie des BT constitue-t-elle une initiative qui pourrait faire tache d'huile en Afrique et contribuer à la résolution du problème récurrent de malnutrition et d'insécurité alimentaire. Cet espoir est d'autant plus réaliste que



les BT existent déjà dans plusieurs autres pays d'Afrique tels que la Mauritanie, le Sénégal, la Guinée Conakry, le Togo, le Burkina Faso et le Mali.

## Bibliographie

- Adanguidi J., 2010. *Évaluation de la stratégie des Boutiques Témoins de l'Office National d'Appui à la Sécurité Alimentaire. Rapport provisoire*. ONASA, Cotonou, 98 p.
- Berthelie P., Lipchitz A., Oulmane N., 2004. Quelles solutions pour dynamiser l'agriculture africaine ? *Analyses Économiques*, **25**, 1-6.
- Bessis S., 1985. *L'arme alimentaire*, Éd. La Découverte, Paris.
- Campbell C.C., Desjardins E., 1989. A model and research approach for studying the management of limited food resources by low income families. *Journal of Nutrition Education*, **21**(4), 162-171.
- CIDR-ETD, 2010. *Des entreprises d'accès aux marchés urbains pour l'agriculture familiale, Rapport d'activités 2009*. CIDR-ETD/Togo-Bénin/KA/N° 51.
- DPP-MAEP, 2010. *Rapport analyse de l'insécurité alimentaire et des inégalités d'accès à l'alimentation au Bénin*. MAEP, Cotonou.
- FAO, 2006. *Sécurité alimentaire et développement agricole en Afrique subsaharienne : Dossier pour un accroissement des soutiens publics*. Note de synthèse – 1. FAO, Rome.
- FAO, 2009. *The State of Food Insecurity in the World 2009. Economic crises – impacts and lessons learned*. FAO, Rome.
- Fogel R.W., 2004. *The Escape from Hunger and Premature Death, 1700-2100: Europe, America, and the Third World*. Cambridge Studies in Population, Economy, and Society in Past Time 38. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kregel J., 2007. *Nurkse and the Role of Finance in Development Economics*. Working Paper N° 520. The Levy Economics Institute of Bard College, Annandale-on-Hudson, NY, USA. [http://www.levyinstitute.org/pubs/wp\\_520.pdf](http://www.levyinstitute.org/pubs/wp_520.pdf).
- Nations Unies, 2013. *Objectifs du Millénaire pour le Développement, Rapport de 2013*. Nations-Unies, New York. <http://mdgs.un.org/unsd/mdg/Resources/Static/Products/Progress2013/French2013.pdf>.
- Oloukoï L., Adégbola Y.P., 2010. *Crise alimentaire au Bénin : Analyse, en termes de prix, de l'efficacité des mesures de politiques adoptées par l'État*. Communication présentée à la conférence régionale du CILSS sur la dynamique des marchés en Afrique de l'Ouest, Bamako, 14-16/07/2009.
- RuralStruc, 2010. *Structural Dimensions of Liberalization on Agriculture and Rural Development*. Synthesis Report of the RuralStruc Program.
- Schwartz A., 2000. Culture du coton, sécurité alimentaire et développement durable dans les savanes de l'Afrique subsaharienne. L'exemple du Burkina Faso. In : *Sécurité alimentaire et développement durable, Colloque, Paris, 1999/12/02*. Technique et documentation – Lavoisier, Paris, 189-198.
- Riches G., 1997. Hunger in Canada: abandoning the right to food. In: Riches G. (ed.). *First World Hunger, Food Security and Welfare Politics*. Macmillan Press Ltd, London.
- Sen A., 1982. *Poverty and Famines: An Essay on Entitlements and Deprivation*. Clarendon Press, Oxford, UK.
- Vindel B., Jacquet P., 2010. *Agriculture, développement et sécurité alimentaire*. AFD, Paris, 16 p.



## **Techniques et impacts de la production cotonnière**



## Production cotonnière et réduction de la pauvreté rurale au Burkina Faso : une histoire complexe

Bainville Sébastien, Montpellier SupAgro-UMR MOÏSA,  
E-mail : sebastien.bainville@supagro.inra.fr

### Résumé

Cette étude porte sur les effets de la production de coton sur la pauvreté rurale au Burkina Faso. Contrairement aux analyses statistiques qui comparent les niveaux de consommation actuels des familles suivant qu'elles cultivent ou non le cotonnier, l'introduction de cette culture est ici replacée dans une dynamique historique afin de mieux cerner les changements qu'elle a entraînés aussi bien sur le plan technique que socio-économique. Une évaluation des revenus agricoles, réalisée sur un échantillon d'exploitations agricoles, est ensuite présentée. Il s'avère que la production de coton a largement contribué à l'amélioration des conditions de vie des agriculteurs en permettant une intensification des systèmes de production mais qu'elle a aussi entraîné une différenciation sociale. Plus que la production de coton en elle-même ce sont les services liés à cette culture qui ont joué un rôle essentiel, en particulier le crédit. Depuis le plan d'ajustement structurel et la privatisation de la filière, les familles les plus pauvres se trouvent marginalisées. Les revenus sont aujourd'hui très variables suivant la taille des familles et les équipements dont elles disposent. Entre les petites familles pauvres qui ne peuvent pas le cultiver et les grandes familles plus riches qui diversifient leurs systèmes de production, le coton est surtout une production de familles moyennes.

### Cotton production on rural poverty in Burkina Faso: a complex history

This study aims to understand the effects of cotton production on rural poverty in Burkina Faso. Unlike statistical analyses that compare the current consumption of cotton growing families with food crop growing families, the introduction of cotton is here analyzed in a long historical dynamics to understand the resulting technical, economic and social changes. An assessment of agricultural incomes conducted on a sample of farms, is then presented. It turns out that cotton production has increased agricultural productivity and raised farmers living standards but it has also led to social differentiation. More than cotton production, the services related to this cash crop have played a key role, particularly credit. Since the structural adjustment program and the following privatization of the sector, the poorest families are marginalized. Incomes are now highly variable depending on the size of families and the equipment they have. Between the poor families who can not grow cotton and the richest families who diversify their farming systems, cotton is mainly grown by middle-income families.

## 1. Introduction

Au Burkina Faso, la troisième enquête menée sur les conditions de vie des ménages indique que la pauvreté en milieu rural touchait la moitié de la population en 2003 et aurait même augmenté depuis 1994 aussi bien en termes d'incidence que d'écart au seuil de pauvreté (Gouvernement du Burkina Faso, 2008a).

Le fait de ne pas pratiquer de cultures de rente est souvent cité comme l'une des principales causes de cette pauvreté rurale. En 2003, la pauvreté touchait 45,5 % des agriculteurs pratiquant une agriculture de rente alors qu'elle affectait 55,5 % des producteurs ne pratiquant qu'une agriculture vivrière (Gouvernement du Burkina Faso, 2004). Dans un pays où le cotonnier est depuis longtemps la culture de rente au cœur des politiques agricoles, cette différence apparaît bien faible et la pauvreté reste très importante aussi dans l'agriculture de rente.

Il serait tentant de raviver le débat du «paradoxe de Sikasso», suivant l'expression née au Mali dans les années 2000. Suite à la publication d'enquêtes statistiques, il était apparu que la région de Sikasso, jusque-là considérée comme prospère car grande productrice de coton, était l'une des plus pauvres du pays (Gunther et al., 2007). Depuis, des analyses plus approfondies ont nuancé ces résultats au Mali mais aussi au Burkina Faso, les zones cotonnières ont repris leur avantage, mais «les écarts entre producteurs de coton et autres agriculteurs sont faibles, quelles que soient les années» (Mesplé-Somps et al., 2008). Ces résultats s'accordent mal avec l'engouement dont les agriculteurs ont fait preuve pour la culture du cotonnier. Rappelons qu'entre 1985 et 2005, les superficies et la production nationale ont été multipliées par 6 (Ton, 2006).

L'hypothèse principale de la présente étude est que la culture du cotonnier a bien contribué à améliorer la situation économique des agriculteurs mais que les indicateurs généralement utilisés n'en rendent qu'imparfaitement compte.

Plusieurs méthodes ont été utilisées dans les recherches portant sur les relations entre la production cotonnière et la pauvreté. Une première série de travaux se base sur l'opinion exprimée par les agriculteurs à propos de leur situation économique (IFPRI/LARES, 2001) ou recense la disponibilité régionale en services sociaux (Sahel and West Africa Club Secretariat, 2005); dans les deux cas il ne s'agit que de manifestations très indirectes des effets de la culture du cotonnier. Dans d'autres analyses, plus centrées sur l'économie des ménages, l'attention est portée sur la possession d'actifs comme l'habitat et les moyens de locomotion (Hauchart, 2006) ou les dépenses de consommation (Minot, Daniels, 2002; Mesplé-Somps et al., 2008). Ce faisant, les producteurs de coton apparaissent plus riches mais la contribution de cette culture à ce surcroît de richesse n'est pas mesurée. Les analyses de la filière cotonnière se concentrent sur la marge (Gergely, 2004), mais cette variable mesure davantage la répartition de la valeur ajoutée entre les sociétés cotonnières et les agriculteurs que le revenu de ces derniers (Lagandre, 2005). Les agro-économistes enfin ont évalué les résultats économiques à l'échelle des exploitations (Faure, 1994; Vall et al., 2012), mais en mesurant les seuls revenus monétaires, la contribution du coton au revenu agricole, qui comprend aussi les productions auto-consommées, reste inconnue.

L'objectif du présent article est d'apporter des compléments sur les liens entre production de coton et pauvreté rurale par l'évaluation des revenus agricoles et de la place qu'y occupe le coton.

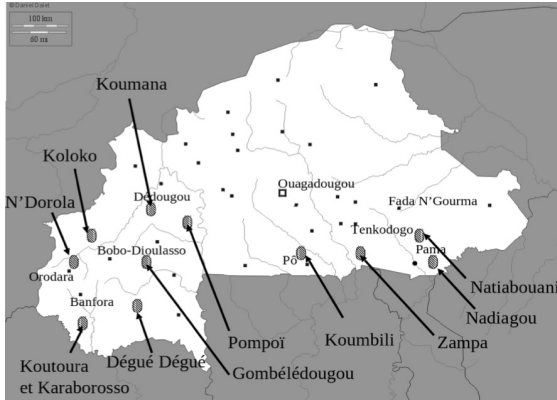
## 2. Matériel et méthode

### 2.1 Milieu d'étude

Entre avril et septembre 2009, à la demande de l'UNPCB (Union Nationale des Producteurs de Coton du Burkina Faso) qui souhaitait mieux connaître la diversité de ses adhérents, 11 études ont été réalisées par des étudiants de master français et burkinabés (Bascou, 2009; Bernier, 2009; Bordage, 2009; Challouf, 2009; Esnouf, 2009; Hien Touourisouon, 2009; Kernaleguen, 2009; Ouedraogo, 2009; Pantchichkine, 2009; Sinitsky Billard, 2009; Watt, 2009). Onze sites ont été choisis pour couvrir la diversité régionale des volumes de production au sein de la zone cotonnière (Carte 1). Chaque site comprenait de un à trois villages.

### 2.2 Collecte des données

Mesurer le revenu agricole n'est pas simple surtout si l'on souhaite pouvoir estimer la part respective des différents systèmes de cultures et d'élevages composant le système de production considéré. Cela suppose de disposer d'une bonne connaissance du fonctionnement des systèmes de production (Dufumier, 1996) et implique la collecte d'un grand nombre de données (Tableau 1). Les entretiens sont longs et il n'est guère envisageable d'en réaliser un très grand nombre. C'est d'ailleurs pour cette raison que la plupart des études statistiques ne se basent pas sur le revenu (Minot, Daniels, 2002).



Carte 1. Localisation des sites d'étude.

Tableau 1. Jeu de variables retenues et mode de calcul du revenu agricole.

Structure de l'exploitation	
SAU (ha)	Déclaration du producteur
Équipements (type, nombre, prix, durée d'utilisation)	Déclaration du producteur
Amortissements des équipements	$\Sigma$ (valeur/durée utilisation)
Nombre d'actifs	Déclaration du producteur
Nombre de dépendants	Déclaration du producteur
Pour chaque système de culture	
Rotations et ou association pratiquée	Déclaration du producteur
Surface	Déclaration du producteur
Itinéraire technique de chaque culture	Déclaration du producteur
Temps de travail de chaque opération culturale	Déclaration du producteur
Intrants (type, quantité, prix) par culture et par an	Déclaration du producteur
<b>Consommations Intermédiaires (CI) par culture et par an</b>	<b><math>\Sigma</math> (quantités intrants*prix)</b>
Récolte (quantité, prix à la vente ou à l'achat suivant que la production est vendue ou auto-consommée) par culture et par an	Déclaration du producteur
<b>Produit Brut par culture et par an (PB)</b>	<b>quantité récoltée*prix</b>
<b>Valeur Ajoutée Brute du système de culture (VAB sc)</b>	<b><math>\Sigma</math> (PB – CI) pour toute la rotation/durée de la rotation</b>
Pour chaque système d'élevage	
Type	Déclaration du producteur
Nombre d'animaux par classe d'âge et par sexe	Déclaration du producteur
Taux de fécondité/taux de mortalité	Déclaration du producteur
Âge première mise bas/âge de réforme	Déclaration du producteur
Poids et prix des animaux par classe d'âge	Déclaration du producteur
<b>PB du système d'élevage</b>	<b>(ventes + autoconsommation + croît)*prix</b>
Intrants (Quantités, prix)	Déclaration du producteur
<b>CI du système d'élevage</b>	<b>Quantités*prix</b>
<b>Valeur Ajoutée Brute du système d'élevage (VAB se)</b>	<b>PB-CI</b>
Système de production	
<b>Valeur Ajoutée Nette (VAN)</b>	<b><math>\Sigma</math> VABsc + <math>\Sigma</math> VABse-Amortissements</b>
Exploitation agricole	
Nombre de jours d'embauche de salariés et prix	Déclaration du producteur
<b>Revenu agricole</b>	<b><math>VAN - (\text{nombre de jours salariés} * \text{prix})</math></b>

Dans le cadre de la présente étude ces enquêtes ne pouvaient donc être conduites qu'auprès d'un nombre limité d'exploitations, mais l'échantillon devait néanmoins être représentatif. Il convenait de connaître la diversité des exploitations avant de mener ces enquêtes technico-économiques. C'est pourquoi sur chacun de ces sites, la première étape a consisté à appréhender cette diversité par une lecture du paysage.

Il est rapidement apparu que dans le Centre (Koumbili), l'Est (Nadiagou, Natiabouani) ou l'extrême Sud-Ouest (Koutoura et Karaborosso et Dégué-Dégué) où la culture du cotonnier date du Plan de Relance de la Production Cotonnière de 1996, les systèmes de cultures en rotation avec des friches étaient dominants comme en attestaient les recrus de végétation spontanée d'âge variable parsemant les finages. Dans l'Ouest du pays en revanche où le cotonnier a été introduit dès la période coloniale (Koumana, Koloko, N'Dorola, Gombélé Dougou et Pompoï), une séparation plus ou moins nette entre une zone de cultures et une zone de brousse vouée au seul pâturage témoignait d'une pratique plus généralisée des systèmes de cultures continues. Et à Zampa où le cotonnier a été introduit au milieu des années 1970, les deux systèmes de cultures semblaient également représentés. Néanmoins des parcelles essouchées indiquant une pratique ancienne de la culture continue, pouvaient être observées dans le premier groupe de villages tout comme il était possible de voir encore quelques friches dans le second. Au delà de ces tendances se manifestant à l'échelle de la zone cotonnière, une diversité de situations persistait au sein des villages.

Pour comprendre l'origine de la diversité des systèmes de production, la seconde étape a porté sur l'histoire agraire. Une dizaine d'entretiens semi-directifs ont été menés auprès d'agriculteurs âgés sur chacun des sites. Ces derniers ont confirmé que l'introduction de la culture du cotonnier avait entraîné de profonds changements techniques mais que les grandes familles, regroupant plus d'une dizaine d'adultes, avaient davantage profité de cette opportunité que les familles de taille plus réduite. Ces entretiens ont alors été complétés par une recherche bibliographique ciblée : article de chercheurs ayant travaillé sur l'agriculture de ces mêmes régions par le passé, évolution des politiques agricoles, évolution des prix et statistiques agricoles nationales.

L'échantillonnage devait donc être représentatif d'une double diversité : la diversité géographique découlant de l'introduction plus ou moins précoce de la culture du cotonnier et la diversité socio-économique liée à la taille des familles. Trois sites contrastés ont été sélectionnés : Koumbili, Zampa et Koumana et pour chaque site trois grands types ont été retenus : les grandes, les moyennes et les petites familles. Dans chaque village et pour chaque type, entre cinq et dix exploitations ont été enquêtées suivant la complexité des systèmes de production. Au total 25 exploitations ont fait l'objet d'une enquête technico-économique à Koumbili, 35 à Zampa et 38 à Koumana.

## 2.3 Analyse des données

Le calcul du revenu agricole a été réalisé à partir de ce recueil de données primaires mais en procédant par étapes (Tableau 1) : les valeurs ajoutées brutes ont d'abord été évaluées à l'échelle des systèmes de cultures et d'élevage puis les valeurs ajoutées nettes ont été calculées à l'échelle des systèmes de production et enfin les revenus à l'échelle des exploitations. Cette agrégation progressive était indispensable pour mesurer la contribution des différentes productions, et notamment du coton, au revenu agricole final.

Sur chaque site, une ou deux enquêtes complémentaires ont alors été menées auprès des familles les plus pauvres pour estimer le seuil de survie, c'est-à-dire le revenu minimal qu'un actif doit obtenir annuellement pour couvrir ses besoins essentiels ainsi que ceux de ses dépendants (alimentation, habillement, santé, logement) de façon à disposer d'une base de comparaison commune.

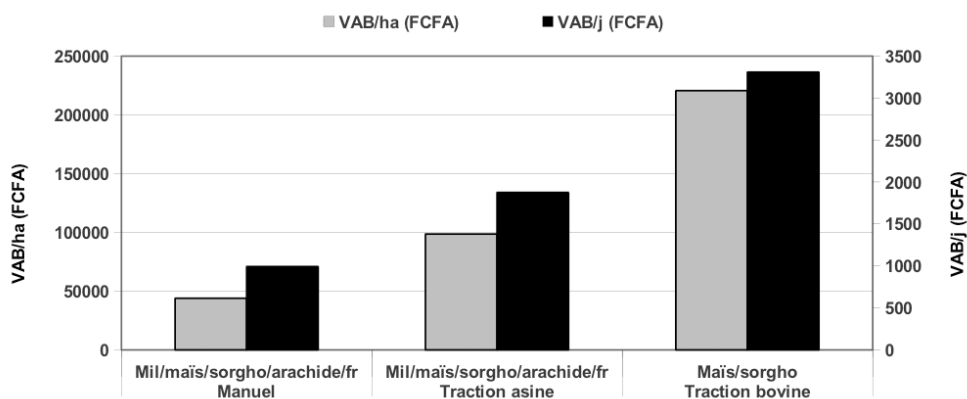
Enfin sur chaque site, les résultats ont été présentés aux agriculteurs et une restitution finale a été organisée auprès des responsables de l'UNPCB.

### 3. Résultats

D'une manière générale, il ressort de ces travaux que l'introduction de la culture du cotonnier, et plus précisément des services qui y sont liés, ont notablement accru les revenus des familles paysannes mais qu'ils ont aussi entraîné une différenciation sociale croissante dans la zone cotonnière...

#### 3.1. Une productivité en hausse pour le cotonnier mais aussi pour les cultures vivrières

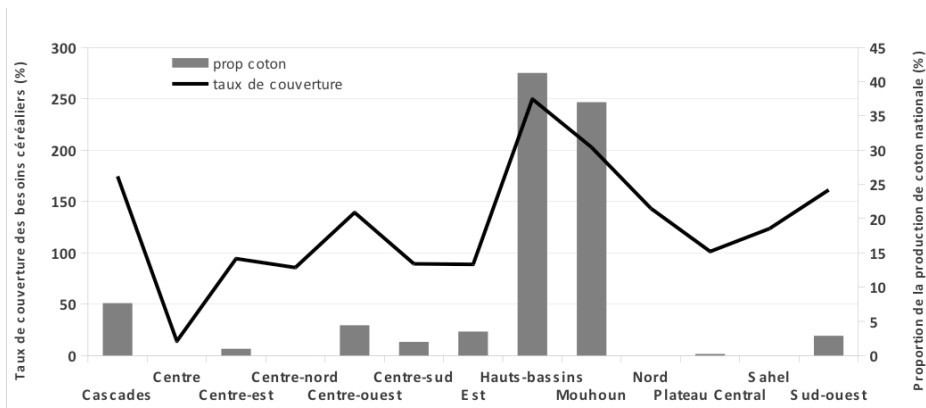
L'analyse historique montre que l'accès au crédit et les subventions aux intrants ont permis aux agriculteurs de remplacer leur outillage manuel par la traction attelée asine d'abord, bovine ensuite. Le labour et l'épandage des déjections animales et des engrais minéraux ont peu à peu remplacé les rotations avec des friches. Avec une fertilité mieux reproduite et une lutte plus efficace contre les adventices, les agriculteurs ont pu bénéficier de rendements supérieurs. Mais n'ayant plus la lourde tâche de la défriche à effectuer et disposant de moyens de sarclage plus rapides, ils ont aussi pu accroître la productivité de leur travail. Ces changements techniques sont connus au Burkina Faso (Hauchart, 2006 ; Vall et al., 2006 ; Bainville, 2012) tout comme dans les zones cotonnières des pays voisins comme le Mali (Dufumier, Bainville, 2006) ou le Cameroun (Faure, 2005). Il est néanmoins important de souligner ici que ces nouvelles techniques culturales n'ont pas été appliquées au seul cotonnier mais aussi aux systèmes de cultures purement vivriers (Figure 1).



**Figure 1.** Productivités des systèmes de cultures en rotation avec des friches et des systèmes de cultures continus à Koumbili (Valeur Ajoutée Brute par hectare et par jour de travail).

Par ailleurs, ne serait-ce que pour des questions phytosanitaires, le cotonnier a été inséré dans des rotations où les céréales et les légumineuses ont continué à tenir une bonne place. Ce faisant ces productions vivrières ont, elles aussi, profité des déjections animales et d'une meilleure lutte contre les herbes adventices. À tel point que de nos jours si le pays bénéficie d'une certaine autosuffisance céréalière c'est avant tout grâce aux régions où la culture du cotonnier est la plus répandue (Figure 2).





**Figure 2.** Comparaison de la production cotonnière et de la couverture des besoins céréaliers (production de céréales rapportée aux besoins nutritionnels de la population) pour les différentes régions du pays, campagne 2007-2008 (source : Gouvernement du Burkina Faso, 2008 b).

L'opposition agriculture de rente et agriculture vivrière ou l'évaluation des revenus monétaires ne rendent donc qu'imparfaitement compte des effets de la culture du cotonnier : non seulement le cotonnier est en rotation avec des céréales mais la pratique de cette culture de rente permet aux agriculteurs d'accroître leur production vivrière.

## 3.2. Une différenciation sociale croissante découlant des changements techniques et des réformes politiques

### 3.2.1. Des grandes aux petites familles

Traditionnellement la famille paysanne pouvait regrouper de 40 à 60 personnes. Une base familiale aussi large assurait un nombre de dépendants par actif relativement favorable et surtout relativement constant. Mais un tel nombre de personnes supposait une organisation efficace. Celle-ci reposait sur le principe de séniorité qui impliquait des rapports de soumission et de subordination aux anciens (Tersiguel, 1995).

Le chef de maison attribuait les tâches de production et de répartition des biens, notamment du grain à des personnes dont la fonction était reconnue de tous. Ainsi l'organisation des travaux champêtres était confiée au chef des cultivateurs. Cette fonction était remplie par le fils aîné, voué à devenir chef de maison lui-même. La répartition des grains était confiée à un chef des greniers qui décidait des rations quotidiennes de chacun. C'était en général un homme âgé dégagé des activités de production. De nombreuses études ont mis en évidence des organisations familiales similaires pour les populations Mossi (Marchal, 1987).

Cette organisation où les pouvoirs étaient concentrés dans les mains des anciens était probablement contraignante pour les jeunes qui devaient obéissance à leurs pères, oncles ou frères aînés. Les velléités d'indépendance étaient bien réelles mais les départs n'étaient pas aisés. Aussi au sein de chaque maison, la production agricole reposait sur deux types de champs : les champs collectifs et les champs individuels.

Les premiers étaient gérés par le père, l'oncle ou le frère aîné. C'est de ces parcelles que dépendait l'essentiel de l'alimentation familiale. C'est aussi à l'aîné qu'étaient confiés les quelques bovins. Les seconds champs étaient attribués aux dépendants par le chef de maison. Ces petites parcelles individuelles étaient mises en valeur par les jeunes chefs de ménage ou par des femmes. Ils étaient bien souvent situés dans les bas-fonds où les sols argileux

n'autorisaient pas la mise en culture avant le milieu de l'hivernage. Ainsi les travaux réalisés sur ces parcelles individuelles n'empiétait pas trop sur les tâches à effectuer sur les grandes parcelles familiales. Sur leurs parcelles les jeunes et les femmes jouissaient d'une entière autonomie mais la production qu'ils en tiraient était bien insuffisante pour leur permettre de quitter la maison et nourrir leur famille (Tersiguel, 1995).

Si des scissions familiales ont pu s'opérer dès la période coloniale (Marchal, 1987), il semble qu'elles soient devenues nettement plus fréquentes au moment de l'expansion des surfaces cotonnières. À la fin des années 1980, seulement un tiers des familles regroupait encore plus de 15 personnes en zone cotonnière (Schwartz, 1991). Avec un cycle plus long que les cultures céréalières traditionnelles, la mise en place du cotonnier dans les champs collectifs a fortement réduit le temps dévolu aux jeunes pour leurs parcelles individuelles. La récolte en particulier mobilisait toute la main-d'œuvre familiale en novembre et décembre, période jusque là disponible pour les cultures individuelles. Par ailleurs si le partage des récoltes céréalières ne prêtait pas beaucoup à débat, le partage et l'utilisation des revenus monétaires tirés du coton étaient plus complexes. Bien souvent ils ont été convertis en bétail, qui revenait de droit à l'aîné. Ainsi une part importante du travail des cadets qui leur assurait jusque là des revenus individuels leur échappait. Ces conséquences sociales des changements techniques et de la monétarisation des revenus ne sont d'ailleurs pas spécifiques au Burkina Faso, des observations similaires ont pu être faites en Gambie (Dey, 1981) ou au Ghana (Amanor, 2010). En outre les allégations du pouvoir Sankariste contre les chefferies traditionnelles et la promulgation des Comités de Défense de la Révolution, les CDR, ont certainement trouvé à l'époque un soutien parmi ces jeunes auxquels ils conféraient une légitimité nouvelle (Dacher, 2005).

Nombre de familles nucléaires se sont donc émancipées à cette époque. Mais bien que libérés des contraintes familiales, les jeunes ménages ont souvent éprouvé de grandes difficultés à s'installer, car s'ils ont obtenu presque toujours le partage des terres, les animaux et l'outillage sont restés aux mains des doyens. Dans un premier temps, la caution solidaire mise en place dans les Groupements Villageois (GV) leur a néanmoins permis de s'installer (crédit de soudure et de campagne). En revanche le crédit à l'équipement pour lequel, un autofinancement de 20% du montant de l'investissement était exigé par la Caisse Nationale de Crédit Agricole leur est resté inaccessible (Tersiguel, 1995). De nos jours, structures familiales et niveau d'équipement apparaissent ainsi étroitement corrélés comme le montre le tableau 2.

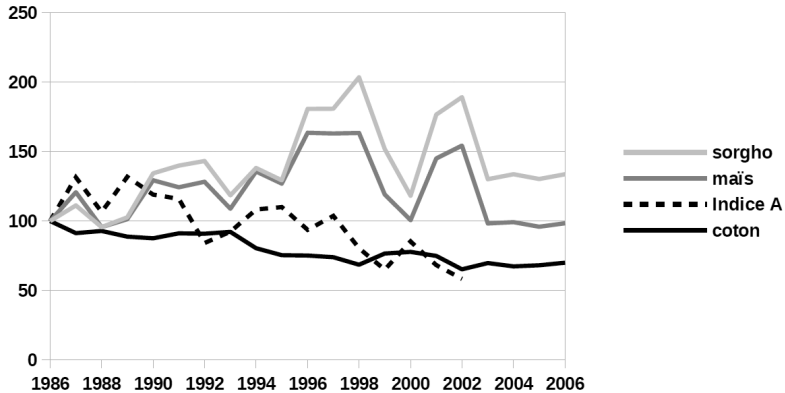
**Tableau 2.** Inégalités sociales d'équipement (Source : Observatoire coton 2007, cité par : Gouvernement du Burkina Faso, 2011).

	Non équipées	Moyennement équipées	Fortement équipées
Nombre d'exploitations	88 031	122 331	66 909
Proportion d'exploitations	32	44	24
Nombre moyen de ménages par exploitation	1,2	1,7	2,1
Nombre moyen de personnes par exploitation	6,4	11,4	16,1
Nombre moyen d'actifs par exploitation	4,2	4,5	10,8

### 3.2.2. Diversification et exclusion

En dépit des différentes réformes institutionnelles qui ont touché la filière cotonnière, la stabilisation des prix a toujours été maintenue. Les fonds de sécurisation ont ainsi permis d'atténuer les variations conjoncturelles de prix. Pourtant depuis la fin des années 1980, le prix du coton graine payé aux producteurs a subi une évolution bien moins favorable que celle des

céréales, surtout à la suite de la dévaluation du Franc CFA en 1994. Celle-ci s'est rapidement traduite par une hausse du prix des céréales mais pour contenir les pressions inflationnistes, cette même hausse n'a pas été répercutée sur le prix du coton payé au producteur. Par la suite, la part du prix à l'exportation revenant au producteur a notablement augmenté, passant de 40 à 55% entre la fin des années 1990 et le début des années 2000 (Goreux, 2003). Mais il n'a pas été possible d'échapper aux évolutions des cours mondiaux, globalement orientés à la baisse en termes réels (Figure 3).



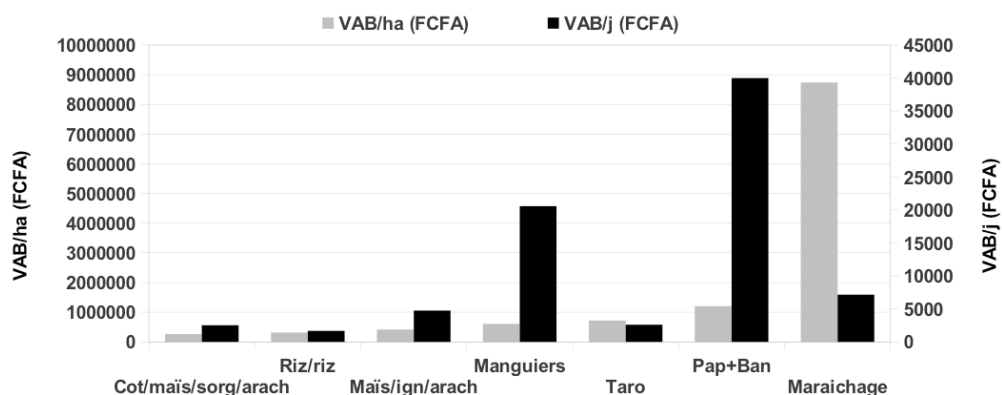
**Figure 3.** Évolution en Francs CFA Constants (base 100 en 1986) de l'Indice A (indice de référence calculé en prenant la moyenne simple des cinq cotations les plus basses de la journée parmi dix-neuf origines géographiques différentes), et des prix au producteur du coton graine et des céréales au Burkina (sources: Cotlook, FAO et Banque Mondiale 2013 ; calculs de l'auteur).

Pour les familles paysannes qui ont acquis un niveau d'équipement suffisant pour ne plus dépendre des services liés au coton, l'abandon progressif de cette culture peut parfaitement se justifier ne serait-ce qu'au profit des cultures céréalières. Le cotonnier n'est plus cultivé qu'une fois tous les 4 ou 5 ans à N'Dorola. Les rotations de céréales sont même devenues fréquentes à Koumana et Korolo pour les familles pouvant se procurer les intrants sans recours au crédit.

La réduction des surfaces de cotonnier libère aussi du temps en début de saison sèche, les bas-fonds et plaines alluviales ont donc pu être mis en culture en complément des parcelles céréalières pluviales. On y pratique la riziculture, la production d'igname ou de patates, et depuis peu, l'acquisition de motopompes a permis de développer la maïsiculture (Koumana) ou le maraîchage de contre-saison (N'Dorola), particulièrement lucratifs (Figure 4).

L'élevage porcin, ovin mais surtout bovin s'est aussi beaucoup développé. Dans les régions où la production cotonnière a démarré récemment (Koutoura, Karaborosso, Koumbili ou Zampa), les troupeaux excèdent rarement les 10 vaches mères. Mais dans le Sud-Ouest où cette activité a permis très tôt de dégager des revenus élevés les troupeaux peuvent aujourd'hui compter plus de 20 vaches mères (Koumana, Koloko et surtout Pompoï). Le troupeau n'est alors plus seulement un fournisseur d'énergie ou d'engrais. Ce n'est pas non plus qu'une forme d'épargne, c'est aussi une source de revenu. Une partie du lait est consommée, des veaux et des animaux de réforme sont vendus. Surtout chaque année les velles rejoignent leurs aînées. Ce croît du troupeau qui ne donne lieu ni à autoconsommation, ni à vente n'en constitue pas moins une source de revenu non négligeable : la valeur ajoutée brute annuelle obtenue avec trois vaches mères est équivalente à celle obtenue avec un hectare soumis à une rotation de cotonnier et de maïs.

Lorsque le troupeau atteint une vingtaine de vaches mères, la conduite change car jusque-là le nombre limité d'animaux ne justifiait pas de mobiliser un actif familial et le confiage aux



**Figure 4.** Comparaison de la productivité (Valeur Ajoutée Brute) à l'hectare et par jour de travail des systèmes de culture pratiqués à Koumana. (Cot : coton ; Sorg : sorgho ; arach : arachide ; ign : igraine ; Pap+Ban : association de papayers et bananiers).

Peuls était la règle. Aujourd'hui dans les familles qui disposent de troupeaux plus importants, les animaux sont gardés par un actif familial ou un vacher salarié. Les animaux passent la nuit dans des parcs individuels et leurs déjections se trouvent ainsi réservées pour leur propriétaire. Le ramassage et le stockage individuel des résidus de récolte se généralisent. Les tiges de mil et sorgho et la distribution de tourteaux de coton constituent alors la ration journalière en saison sèche.

Les plantations arboricoles s'étendent aussi dans la zone cotonnière et dans le sud-ouest, ces cultures pérennes sont en passe de supplanter les cultures annuelles : manguiers, papayers et bananiers à Koumana et N'Dorola, anacardiens à Korolo et Koutura. Pour les protéger des troupeaux en vaine pâture, les plantations doivent néanmoins être encloses de haies vives.

La culture du cotonnier étant devenue relativement moins attrayante, il est normal de voir ces familles diversifier ainsi leurs systèmes de production. Pourtant les conséquences pour les communautés paysannes sont préoccupantes. C'est bel et bien à une remise en question de la vaine pâture que nous assistons, institution qui permettait jusque-là aux familles les plus pauvres de disposer d'un minimum de déjections animales sur leurs parcelles et parfois de se constituer un petit troupeau grâce aux résidus de cultures, ressource fourragère de saison sèche essentielle.

La multiplication des parcs individuels, le ramassage des résidus et la mise en place de clôtures sont autant d'obstacles que les jeunes ménages auront bien du mal à franchir pour se constituer le moindre troupeau.

### 3.2.3. Un recentrage progressif des services liés à la culture du cotonnier

La désaffection croissante de certains producteurs pour la culture cotonnière ne tarda pas à faire sentir ses effets. Dès le milieu des années 1990, les volumes de coton récoltés étant insuffisants pour couvrir les crédits engagés, il en résulta de sérieuses situations d'impayés parmi les groupements villageois (GV) (Schwartz, 1997). Par le jeu de la caution solidaire, l'endettement des GV se doublait d'endettement entre paysans. Le risque était donc grand de voir les plus gros producteurs, qui se trouvaient ainsi pénalisés, abandonner la production cotonnière. La SOFITEX a donc concentré ses efforts sur ces derniers. Dénommés « Producteurs Pilotes de Coton », les agriculteurs qui en cultivaient au moins 6 ha, ont bénéficié d'un contrat de production. Ils devaient produire des quantités préétablies et respecter un itinéraire technique précis. En retour la SOFITEX s'engageait à commercialiser leur production individuellement,

à procéder à un paiement rapide et surtout à les faire bénéficier de crédits à titre individuel, la caution étant apportée par la SOFITEX. Avec de tels contrats, les producteurs pouvaient se désinscrire des GV et il fut possible de les regrouper dans de nouvelles organisations à partir de 1996 : les Groupements de Producteurs Coton, GPC. Le fonctionnement était similaire à celui des GV mais le public était bien plus homogène. En outre, au début des années 2000, dans le cadre du Programme d'Ajustement Structurel Agricole (PASA), l'État se désengagea de la filière et les subventions publiques aux intrants furent supprimées.

Les réformes de la filière cotonnière ont pu réduire ses coûts de fonctionnement (Goreux, 2003) mais elles ont encore plus fortement limité l'accès aux intrants et au crédit pour les petits producteurs, accentuant ainsi une différenciation sociale qui se manifestait déjà à la période précédente.

### 3.3 Aujourd'hui, des écarts de revenus marqués

À l'issue de ces évolutions, les exploitations de la zone cotonnière sont très hétérogènes. Il existe déjà de grandes différences entre les provinces du pays suivant la date plus ou moins précoce où la culture du cotonnier a été introduite. Les provinces de Nahouri, du Boulgou et du Mouhoun où se situent les sites où ont été effectuées les évaluations de revenus (Koumbili, Zampa et Koumana) illustrent bien ces contrastes géographiques. Les données statistiques collectées dans le cadre de la Stratégie Nationale sur la Mécanisation Agricole (Gouvernement du Burkina Faso, 2009) indiquent des différences d'équipement saisissantes, non seulement pour l'outillage de travail du sol mais aussi pour les moyens de transports et les troupeaux bovins, éléments essentiels pour assurer une bonne reproduction de la fertilité dans les systèmes de cultures continues (Tableau 3).

**Tableau 3.** Inégalités géographiques du niveau d'équipement des familles (Source : Gouvernement du Burkina Faso, 2009).

Provinces	Début de la culture du cotonnier	Familles disposant de la traction bovine	Familles disposant de la traction asine	Familles disposant de Charrettes	Familles sans bovin
Mouhoun	1966	32,80 %	6,70 %	35,40 %	51,50 %
Boulgou	1975	27,10 %	5,60 %	20,00 %	64,30 %
Nahouri	1996	14,80 %	1,70 %	6,10 %	78,30 %

Mais au sein de chaque province les situations des familles sont des plus diverses. Trois grands types d'exploitations agricoles se distinguent tant du point de vue de la structure familiale que du niveau d'équipement.

Les petites familles comportent généralement un ou deux actifs et plus de deux dépendants. Ces agriculteurs ne disposent que d'outils manuels et l'absence de troupeau bovin les oblige à pratiquer des rotations avec des friches mais les surfaces réduites (moins de 3 ha) ne permettent guère des durées supérieures à trois ou quatre ans. L'épandage des déjections des petits ruminants assure de bons rendements en maïs « rouge » hâtif, mais pour les parcelles les plus éloignées où sorgho rouge, mil et pois de terre se succèdent, les rendements restent bien faibles (700 kg/ha pour le maïs, 400 pour le sorgho). Ne pouvant intégrer les GPC, ces familles ne cultivent pas le cotonnier et avec des moyens aussi rudimentaires elles parviennent à peine à se nourrir. Le revenu agricole ne permet pas d'atteindre le seuil de survie et le salariat occasionnel dans les exploitations voisines est vital (Figures 5, 6 et 7).

Les familles de taille moyenne (4 actifs et 6 dépendants) cultivent une dizaine d'hectares et disposent d'un meilleur niveau d'équipement. Certaines ne possèdent qu'un sarlo-bineur et un

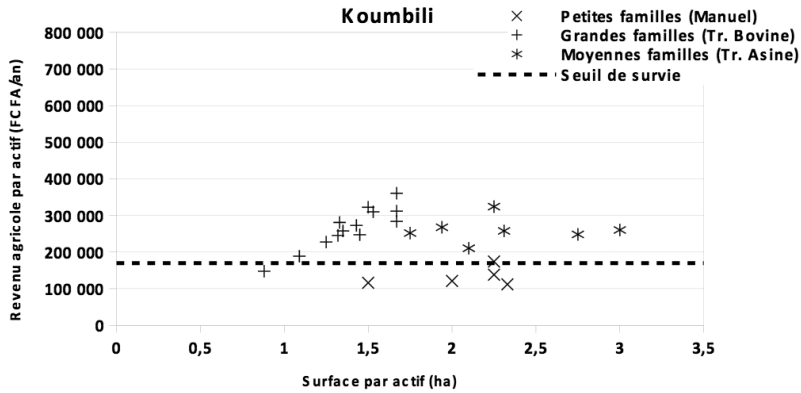


Figure 5. Revenu agricole des 25 exploitations enquêtées à Koumbili. (Manuel : équipement uniquement manuel; Tr. Asine: traction asine, sarclo-bineur et âne de traction; Tr. Bovine: traction bovine, charrue, sarclo-bineur, paire de bœufs de trait, charrette).

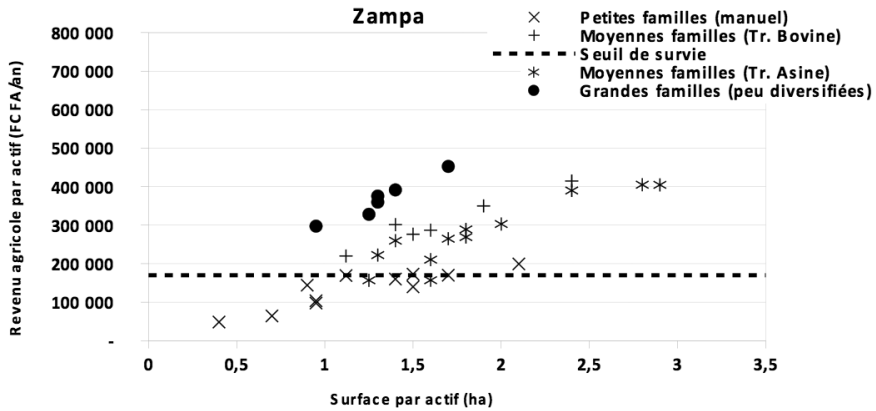


Figure 6. Revenu agricole des 35 exploitations enquêtées à Zampa (Peu diversifiées : jeunes vergers en plus de systèmes de cultures annuelles).

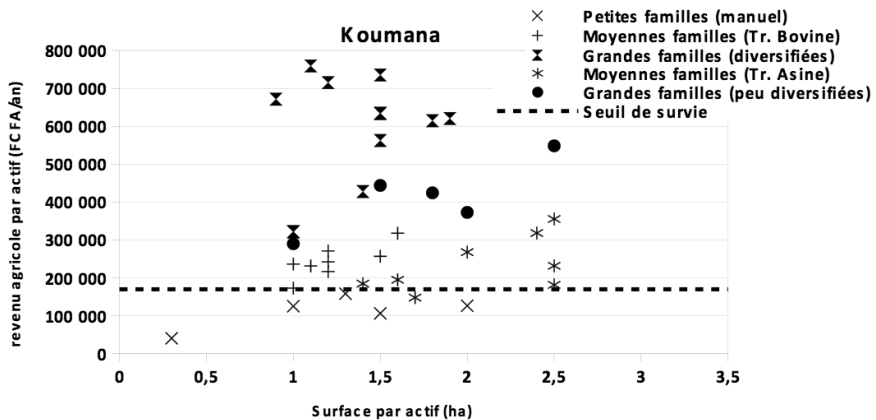


Figure 7. Revenu agricole des 38 exploitations enquêtées à Koumana. (Diversifiées : vergers en production, maraîchage, élevage bovin).

âne mais cela suffit à réduire la charge de travail occasionnée par les sarclages et permet à un actif de travailler jusqu'à 3 ha (friches comprises). En produisant un peu de coton, il leur est possible d'accéder aux crédits et d'épandre quelques sacs d'engrais sur les parcelles. Outre l'élevage des volailles, des petits ruminants et éventuellement de quelques truies, une ou deux vaches mères ont pu être acquises. Pour autant, la fumure organique se limite aux champs les plus proches. Les autres parcelles doivent être régulièrement laissées en friche. Bien que les rendements soient supérieurs au cas précédent (2 000 kg/ha pour le maïs, 1 300 kg/ha pour le coton) et malgré l'élevage, le revenu agricole ne dépasse pas les 400 000 Francs CFA par actif. D'autres disposent de la traction bovine et avec un troupeau plus conséquent il leur est possible de pratiquer des systèmes de cultures continues où le cotonnier occupe une bonne place. Sans friche, pour une même surface par actif, les revenus sont alors supérieurs (Figure 6).

Les grandes familles (une dizaine d'actifs pour 6 dépendants) bien équipées et dont l'élevage bovin occupe désormais une bonne place dans le revenu agricole, cultivent peu le cotonnier. Les parcelles voient se succéder continuellement sorgho, maïs et légumineuses. Pour limiter le coût des engrais, la reproduction de la fertilité repose avant tout sur les déjections bovines. Les rendements sont peut-être moindres (2 500 kg/ha pour le maïs) que ce qu'autoriserait une fertilisation minérale complémentaire mais la baisse des consommations intermédiaires permet finalement de conserver une bonne valeur ajoutée à l'hectare. Les cultures à forte valeur ajoutée sont privilégiées. Ainsi à Zampa, de jeunes plants de manguiers ou d'anacardiens commencent à être plantés au milieu des parcelles. Une fois entrés en production, ces vergers assurent tout à la fois une diversification et une augmentation des revenus comme on peut le constater dans le cas de Koumana. En outre, à cette production de fruits peut encore s'ajouter une production maraîchère de contre-saison à laquelle se consacre la main-d'œuvre familiale désormais relativement disponible en fin d'hivernage. Avec un troupeau d'une quinzaine de vaches mères et un nombre équivalent de chèvres et de brebis, les systèmes d'élevage fournissent des revenus de l'ordre de 100 000 Francs CFA par actif et par an. Dans ces grandes familles, le revenu agricole global peut donc facilement dépasser les 600 000 Francs CFA (Figure 7).

Les écarts de revenus sont donc aujourd'hui très importants parmi les familles paysannes de la zone cotonnière, et ces écarts apparaissent d'autant plus élevés que l'histoire cotonnière a été longue : de l'ordre de 1 à 4 à Koumbili où l'introduction du cotonnier date de 1997, 1 à 7 à Zampa où cette agriculture de rente a commencé en 1975 et de 1 à 10 à Koumana où l'on cultive le cotonnier depuis les années 1960.

Ils résultent de niveau d'équipements très différents mais la diversification des systèmes de production due au moindre intérêt porté à la culture du cotonnier explique aussi une telle différenciation. Il y a donc là de quoi s'interroger sur les liens qu'entretiennent la production de coton et la pauvreté rurale...

## 4. Discussion

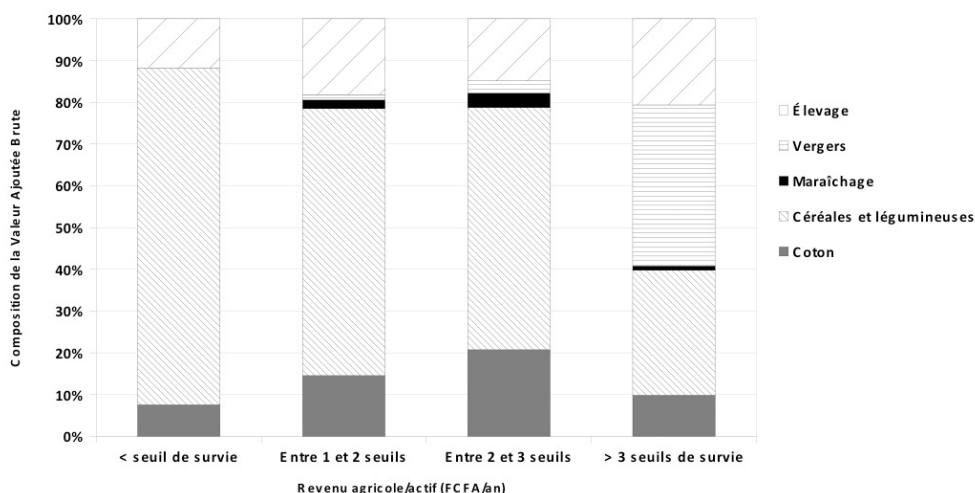
Il semble bien y avoir un lien entre la culture du cotonnier et la plus ou moins grande pauvreté des familles paysannes de la zone cotonnière du Burkina Faso. Comme le montrent les graphiques précédents, sur les trois sites, les familles les plus pauvres sont celles ne cultivant pas le cotonnier. À l'inverse les familles qui le cultivent jouissent de revenus plus élevés. En outre les écarts sont bien plus prononcés que ce que suggèrent les statistiques.

Il faut néanmoins se garder de toute conclusion hâtive et ne pas inverser les causalités. L'analyse des réformes de la politique cotonnière nous a en effet appris que les conditions d'entrée dans les GPC sont aujourd'hui bien plus restrictives que par le passé. Les petites familles pauvres qui auraient intérêt à cultiver le cotonnier, ne serait-ce que pour améliorer leur équipement grâce au crédit, en sont en fait exclues. Il est possible que ces familles soient



pauvres parce qu'elles ne cultivent pas le cotonnier mais il est aussi probable qu'elles ne cultivent pas le cotonnier parce qu'elles sont pauvres !

Par ailleurs parmi les producteurs de coton, les écarts de revenus sont aussi très marqués. Le fait de cultiver ou non le cotonnier ne suffit donc pas à expliquer les niveaux de revenus. En fait, comme le montre la figure 8 réalisée à partir de l'ensemble des exploitations cultivant le cotonnier sur les trois sites (77 cas), la production de coton ne contribue que très partiellement au revenu agricole des producteurs de coton.



**Figure 8.** Contribution des différentes activités à la valeur ajoutée brute suivant le niveau de revenu (moyenne par tranche de revenu – 77 exploitations).

La part du coton dans le revenu s'accroît avec le revenu pour les tranches de revenu les plus bas jusqu'à trois fois le seuil de survie. Peut-on en conclure que pour ces catégories là tout au moins la culture du cotonnier accroît les revenus ? Ce n'est pas certain car cette contribution du coton reste modeste et ne dépasse pas les 20 %. Par ailleurs, les productivités comparées des systèmes de culture (Figure 4) indiquent qu'il serait plus intéressant pour ces familles de se consacrer à d'autres productions. La culture du cotonnier est avant tout un moyen d'accéder au crédit. Ces familles qui sont acceptées dans les GPC cherchent à améliorer leur niveau d'équipement et ne s'endettent qu'à hauteur de leurs revenus.

Pour la dernière tranche de revenu, la contribution du coton régresse au profit de l'élevage, du maraîchage et surtout des cultures pérennes. Les familles les plus riches cultivent effectivement le cotonnier mais tirent l'essentiel de leurs revenus d'autres activités agricoles. Il ne faudrait pas pour autant en conclure que la production de coton n'explique pas leur situation. L'analyse historique nous a en effet appris que les grandes familles qui diversifient aujourd'hui leurs systèmes de production ont cultivé davantage de cotonnier par le passé et que cela leur a été profitable. En d'autres termes, elles ne sont pas plus riches parce qu'elles cultivent le cotonnier mais parce qu'elles l'ont cultivé.

## 5. Conclusion

La production de coton a bel et bien contribué à baisser la pauvreté en milieu rural au Burkina Faso : les revenus agricoles sont bien supérieurs parmi les familles qui le cultivent et les écarts de revenu sont d'autant plus prononcés que cette culture a été introduite précocement.

La présente étude, centrée sur la dynamique des systèmes de production et l'évaluation des revenus agricoles, montre néanmoins que la situation est plus complexe que ce que reflètent les statistiques. La contribution de la culture du cotonnier à l'amélioration des revenus des familles paysannes a été double : la production et la commercialisation du coton d'une part, les services auxquels cette culture donne accès d'autre part. Mais suite aux évolutions des prix relatifs, la production de coton a perdu de son intérêt économique et ce sont désormais surtout les services qui motivent les familles paysannes. Dès lors dans l'ouest du pays où cette production est ancienne, une fois équipées les familles paysannes peuvent continuer à bénéficier de revenus élevés en produisant moins ou plus du tout de coton.

Par ailleurs, les changements techniques qui ont découlé de la production de coton n'ont pas été socialement neutres. Les scissions familiales se sont multipliées et pour beaucoup de petites familles la situation ne s'est guère améliorée. Surtout, depuis les plans d'ajustement structurels, le soucis de rentabilité l'a emporté sur les préoccupations initiales de service public et ces petits producteurs, jugés « non rentables », se trouvent exclus.

Attirante pour les plus pauvres mais délaissée par les plus riches, la culture du cotonnier est devenue une culture de « classe moyenne ». Il conviendrait de s'interroger davantage sur cette situation car la prospérité future de la filière cotonnière réside peut-être davantage dans les petites familles que dans les grandes. Certes les coûts de transaction sont plus élevés si les volumes de coton à collecter sont réduits et la gestion du crédit est plus délicate avec des familles pauvres mais au moins leur intérêt pour cette production est assuré, ce qui est de moins en moins le cas avec les grandes familles.

## Bibliographie

- Amanor K.S., 2010. Family values, land sales and agricultural commodification in Ghana. *Africa*, **80**(1), 104-125.
- Bainville S., 2012. Régénération naturelle assistée et cultures sous parcs arborés dans les régions de l'Afrique soudano-sahélienne. In : Villeneuve C. (ed). *Forêt et humains : une communauté de destins*. Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie, Québec.
- Banque Mondiale, 2013. *Base de donnée, indicateurs macroéconomiques*, <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.DEFL.KD.ZG>.
- Bascou P.D., 2009. *Diagnostic agraire en zone cotonnière au Burkina Faso. Finage villageois de Koumana, Boucle du Mouhoun*. Mémoire de fin d'étude : ESAT1 – SupAgro-IRC, Montpellier, France.
- Bernier F., 2009. *Production cotonnière et développement des exploitations familiales. Diagnostic agraire de la zone de Gombélédougou (Région des Hauts Bassins ; Burkina Faso)*. Mémoire de fin d'étude, ESAT2 – SupAgro-IRC, Montpellier France.
- Bordage N., 2009. *Diagnostic agraire du finage villageois de Koloko : vers une expansion des plantations fruitières ?* Mémoire de fin d'étude d'ingénieur : ENITA. Clermont Ferrand, France.
- Challouf A., 2009. *Diagnostic Agraire d'une zone cotonnière du Burkina Faso cas de Dégué Dégué (région des Cascades)*. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur : AgroParisTech, Paris.
- Cotlook, 2013. *Cotlook "A" Index. Historical datas*. <http://www.cotlook.com/information/cotlook-indices/>
- Dacher M., 2005. *Cent ans au village, chronique d'une famille Gouin*. Karthala, Paris.
- Dey J., 1981. Gambian women: Unequal partners in rice development projects? *The Journal of Development Studies*, **17**(3), 109-122.
- Dufumier M., 1996. *Les projets de développement agricole, manuel d'expertise*. Karthala, Paris.
- Dufumier M., Bainville S., 2006. Le développement agricole du Sud-Mali face au désengagement de l'État. *Afrique contemporaine*, **217**, 121-133.

- Esnouf M., 2009. *De l'abattis-brulis manuel à la moto-mécanisation : diversité de l'agriculture familiale en zone cotonnière récente. Diagnostic agraire de la zone de Koumbili (Centre Sud du Burkina Faso)*. Mémoire de fin d'étude : ESAT1 – SupAgro-IRC, Montpellier, France.
- FAO, 2013. *FAOSTAT*. <http://faostat.fao.org/>
- Faure G., 1994. Mécanisation, productivité du travail et risques : le cas du Burkina Faso. *Économie Rurale*, **219**, 3-11.
- Faure G., 2005. Valorisation agricole des milieux de savanes en Afrique de l'Ouest : des résultats contrastés. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, **229**, 5-24.
- Gergely N., 2004. *Études comparatives sur les coûts de production des sociétés cotonnières au Mali, au Burkina Faso et au Cameroun*. Agence Française de Développement, Paris.
- Goreux L., 2003. *Réformes de filières cotonnières en Afrique subsaharienne*. Ministère des Affaires étrangères – Direction générale de la Coopération internationale et du Développement, La Banque mondiale, Paris.
- Gouvernement du Burkina Faso, 2004. *Cadre Stratégique de lutte contre la pauvreté*. Ministère de l'Économie et du Développement, Ouagadougou.
- Gouvernement du Burkina Faso, 2008a. *Évolution du secteur agricole et des conditions de vie des ménages au Burkina Faso*. Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques. Direction Générale des Prévisions et des Statistiques Agricoles, Ouagadougou.
- Gouvernement du Burkina Faso, 2008b. *Statistiques sur l'Agriculture et l'Alimentation du Burkina Faso, campagne 2007-2008 (Agristat)*. Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques. Direction Générale des Prévisions et des Statistiques Agricoles, Ouagadougou.
- Gouvernement du Burkina Faso, 2009. *Stratégie Nationale sur la Mécanisation Agricole*. Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques. Service des statistiques agricoles. Centrale d'information agro-pastorale, Ouagadougou.
- Gouvernement du Burkina Faso, 2011. *Analyse économique du secteur coton, liens pauvreté et environnement*. Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie (MECV), Projet Initiative Pauvreté Environnement (IPE), Ouagadougou.
- Gunther I., Marouani M.A., Raffinot M., 2007. *La croissance pro-pauvre au Mali*. Agence Française de Développement, Paris.
- Hauchart V., 2006. Le coton dans le Mouhoun (Burkina Faso), un facteur de modernisation agricole. Perspectives de développement? *Cahiers Agricultures*, **15**(3), 285-291
- Hien Touourisouon T., 2009. *Étude de la dynamique des systèmes de production en zone cotonnière du Burkina Faso par un diagnostic agraire : cas du village de Nadiagou dans la province de la Kompienga*. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur : Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso-Institut du Développement Rural, Bobodioulasso, Burkina Faso.
- International Food Policy Research Institute (IFPRI), Laboratoire d'Analyse Régionale et d'Expertise Sociale (LARES), 2001. *Impact des Réformes Agricoles sur les Petits Agriculteurs au Bénin. Volume I*. IFPRI, Washington DC.
- Kernaleguen A., 2009. *Des exploitations familiales touchées par la crise de la filière cotonnière, cherchant à se diversifier. Étude des dynamiques du système agraire dans une zone cotonnière du centre ouest du Burkina Faso*. Mémoire de fin d'étude : ESAT1 – SupAgro-IRC, Montpellier, France.
- Lagandre D., 2005. *Le secteur cotonnier en zone franc, entre succès et dépendance*. Rapport thématique Jumbo, n° 7. Agence Française de Développement, Paris.
- Marchal J.Y., 1987. En Afrique des savanes, le fractionnement d'exploitations agricoles ou le chacun pour soi. L'exemple des mooses du Burkina Faso. *Cahiers Orstom, série Sciences humaines*, **23**(3-4), 445-454.
- Mesplé-Somps S., Robilliard A.S., Gräb J., Cogneau D., Grimm M., 2008. *Coton et pauvreté en Afrique de l'Ouest : analyse comparée des conditions de vie des ménages au Mali et au Burkina Faso*. Agence Française de Développement, Paris.

- Minot N., Daniels L., 2002. *Impact of Global Cotton Market on Rural Poverty in Bénin*. IFPRI, Washington DC.
- Ouedraogo A., 2009. *Étude des dynamiques du système agraire dans la zone cotonnière de Kompienga*. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur : Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso-Institut du Développement Rural, Bobodioulasso, Burkina Faso.
- Pantchichkine M., 2009. *Dynamique des systèmes agraires en zone cotonnière burkinabé : N'Dorola*. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur : AgroParisTech, Paris.
- Sahel and West Africa Club Secretariat, 2005. *Economic and Social Importance of Cotton Production and Trade in West Africa: Role of Cotton in Regional Development, Trade and Livelihoods*. OECD.
- Savonet G., 1959. Un système de culture perfectionnée, pratiqué par les Bwaba- Bobo-Oulé de la région de Houndé (Haute-Volta). *Bulletin de l'Ifan*, **21**, série B (3-4), 425-458.
- Schwartz A., 1991. *L'exploitation agricole de l'aire cotonnière burkinabé : caractéristiques sociologiques, démographiques, économiques*. ORSTOM, Ouagadougou.
- Schwartz A., 1997. Des temps anciens à la dévaluation du franc C.F.A., les tribulations de la culture du coton au Burkina Faso. *Annales de Géographie*, **106**(595), 288 - 312.
- Sinitsky Billard C., 2009. *Quelles sont les adaptations des exploitations agricoles abandonnant la culture du cotonnier ? Diagnostic agraire de la région de Tenkodogo (Burkina Faso)*. Mémoire de fin d'étude : ESAT1 – SupAgro-IRC, Montpellier, France.
- Tersiguel P., 1995. *Le pari du tracteur. La modernisation de l'agriculture cotonnière au Burkina Faso*. ORSTOM, Paris.
- Ton P., 2006. *Promouvoir la production plus durable de coton : Possibilités au Burkina Faso et au Mali*. Rapport final, mars 2006. FAO-PNUE, Rome
- Vall E., Dugué P., Blanchard M., 2006. Le tissage des relations agriculture-élevage au fil du coton. *Cahiers Agricultures*, **15**(1), 72-79.
- Vall E. et al., 2012. Intégration agriculture-élevage et intensification écologique dans les systèmes agrosylvopastoraux de l'Ouest du Burkina Faso, province du Tuy. In : Vall E., Andrieu N., Chia E., Nacro H.B. (eds). *Partenariat, modélisation, expérimentation : quelles leçons pour la conception de l'innovation et l'intensification écologique. Actes du séminaire ASAP, novembre 2011*. Cédérom, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
- Watt M., 2009. *La place du coton dans l'évolution des exploitations au sud ouest du Burkina Faso. Cas des villages de Koutoura et Karaborosso*. Mémoire de fin d'étude : ESAT1 – SupAgro-IRC, Montpellier, France.

## Quand le coton décline, quelles incidences sur le revenu et la production alimentaire des paysans au Burkina Faso ?

Vognan Gaspard, INERA, Burkina Faso, vognang@yahoo.fr  
Ouattara Marcel B., INERA/Programme coton

### Résumé

Cette étude analyse les impacts de l'évolution défavorable des conditions de production du coton au Burkina Faso, entre 2005, année d'une production record de 713 000 t et 2011 année de reprise après une chute importante de la production jusqu'à 347 000 t en 2007 (SOFITEX, 2007). Connaissant le rôle moteur du coton dans les systèmes de production, quelle peut être l'influence de ce déclin du coton sur la production vivrière, la sécurité alimentaire et sur le revenu du producteur ?

Les données d'enquêtes réalisées dans 6 villages repartis sur trois provinces de la zone cotonnière Ouest auprès de 180 exploitations ont été analysées par le logiciel SPSS. Les résultats ont permis de distinguer trois types de producteurs classés selon leurs réactions à l'évolution défavorable des conditions de production du coton : (1) les producteurs qui abandonnent le coton, (2) ceux qui réduisent leur superficie de coton et (3) ceux qui maintiennent ou augmentent leur superficie du coton. Les analyses de corrélations mettent en évidence une forte corrélation entre coton-céréales-élevage et sécurité alimentaire selon le type de producteurs. Les superficies du maïs et celles du coton évoluent dans le même sens indiquant l'existence d'une corrélation forte entre ces deux cultures. L'analyse des résultats de ceux ayant maintenu la superficie du coton montre que la corrélation entre les superficies du coton et du maïs est significative et positive aussi bien en 2005 qu'en 2011 au seuil de 5% ( $r=0,866$  en 2005 et 2011). Chez ceux qui ont réduit, ce lien est confirmé par le coefficient de corrélation élevé et significatif au seuil de 1% (0,797) entre les deux cultures le coton et le maïs. Chez ceux abandonnant le coton, la corrélation entre le maïs et le coton reste encore forte, soit 0,665 au risque de 1%. Ces résultats confirment la corrélation positive entre le coton et les cultures céréalières (Schwartz, 1991).

La réduction des superficies de coton s'accompagne de celle du revenu agricole de 22,4% en moyenne. Cette réduction au niveau du revenu coton est de 56,7% chez ceux qui ont pratiquement abandonné le coton, de 20,7% chez les producteurs maintenant ou augmentant leur superficie de coton et de 69% chez ceux réduisant leur superficie de coton. Ces derniers optimisent le moins leur plan de production. La vente d'animaux constitue une source importante de revenu que privilégient également ceux qui ont abandonné et ceux qui ont réduit pour combler le manque à gagner avec le coton. La réduction ou l'abandon presque de la culture du coton n'empêche pas les producteurs d'assurer leur autosuffisance alimentaire car tous les types de producteurs ont un taux de couverture céréalière supérieur à 105%.

### When farmers grow less cotton, what happens to their income and food production?

This study appraises the impacts of the negative trend of cotton production, observed between 2005 and 2011; production at historic level of 713 000 tons was achieved in 2005, but it decreases till 2011 with notably a bottom production of 347 000 tons observed in 2007. Given the acknowledged role of cotton as a development engine, the decline of its production might impact negatively on farmers' food production, food security and income but which have yet to be assessed.

Data were collected from 180 farms in six villages of three provinces in the west part of the cotton area; they were processed by using SPSS software. Three types of producers were observed according to their reaction to the unfavorable conditions for cotton production: (i) producers having abandoned cotton production; (ii) producers having reduced areas dedicated to cotton growing, and (iii) producers having maintained if not increased area dedicated to cotton. Correlation analyses were made and demonstrated strong relationship between cotton-cereal-husbandry activities according to the producers' type. Strong

correlation between cotton and corn areas implied similar trend of the productions of these two crops. For producers having maintained cotton production, positive correlations and significant at 95% were found between cotton and corn areas both for 2005 and 2011 ( $r=0,866$  in 2005 and 2011). This correlation (0.797) is confirmed for farmers having reduced cotton production, and it remained for producers having abandoned cotton production (0.665), both at 99%. These results are consistent with the positive correlation between cotton and cereal cropping observed earlier (Schwartz, 1991)

The global reduction of cotton areas implied income decrease of 22.4% on average. Income decreased by 56.7, 69.0 and 20.7% for producers who abandoned, reduced and maintained/increased cotton areas, respectively. Farmers having reduced their cotton areas demonstrated a less optimal production scheme. Earnings from cattle selling become an important source of income to farmers who have abandoned or reduced cotton cropping so as to compensate cotton earnings. Reducing or abandoning cotton cropping has not implied endangered food security owing to food needs covered up to 105% by production in farms.

## 1. Introduction

L'économie du Burkina Faso, tout comme celle de la plupart des pays enclavés de l'Afrique de l'Ouest repose essentiellement sur l'agriculture et l'élevage. Ce secteur emploie plus de 86% de la population active et contribue pour près de 40% au Produit Intérieur Brut (PIB) (agriculture 25%, l'élevage 12%, foresterie et pêche 3%). Il procure 80% des recettes d'exportation (MAHRH, 2009). En outre, près de 85% de cette population vit en milieu rural. Les principales cultures sont les cultures vivrières (céréales, tubercules, légumes...) qui occupent plus de 55% des superficies emblavées et les cultures de rente (coton, oléagineux) occupant environ 45% (INSD, 2006).

La filière coton apparaît comme le principal moteur de croissance des productions végétales car elle contribue à 35% au PIB agricole et représente 60% à 70% des recettes totales des exportations du pays (MEF, 2010). Le coton fait vivre environ 3 millions de personnes (SOFITEX, 2010). Les revenus directement versés aux producteurs sont estimés à 95, 182 milliards de FCFA ce qui permet de dire que la culture cotonnière contribue à la lutte contre la pauvreté en milieu rural.

Selon Schwartz (1991), Vognan et al. (2003), Poda (2004), EUREKA (2007), la succession coton/céréales sur une même parcelle permet à la culture céréalière de bénéficier de l'arrière effet des engrais apportés au coton. En outre, les céréales bénéficient de la politique de développement du coton à travers les crédits intrants et équipements remboursés par le coton. La culture céréalière bénéficie aussi de l'intensification des exploitations, induite par le « paquet technologique » appliqué au coton (FAO, 2006) ce qui se traduit par une amélioration des rendements des céréales. Les zones cotonnières contribuent à plus de 80% de la commercialisation céréalière au Burkina Faso (AGRER, 2007). La contribution financière directe du coton pour l'achat de besoins alimentaires est importante montrant ainsi que cette culture est une alternative viable pour l'accès aux vivres.

L'augmentation de la production de coton graine est progressive depuis 1985; à partir de 1994-1995, la croissance s'est fortement accélérée avec des gains de compétitivités engendrés par la dévaluation du franc FCFA. Avec moins de 200 000 tonnes de 1985 à 1996, la production de coton graine a atteint et franchi la barre de 700 000 tonnes en 2005-2006 faisant du Burkina Faso le premier pays africain producteur de coton. Toutefois, parallèlement à cette augmentation de la production de coton graine, on note une stagnation des rendements moyens à l'hectare, alors que les rendements moyens au niveau mondial ne cessent d'augmenter.

Malgré ces performances la filière connaît des problèmes ces dernières années car en plus des contraintes techniques (aléas climatiques et biologiques, faible rendement, coût élevé des intrants) vient s'ajouter la baisse du prix d'achat au producteur et l'augmentation du prix



de cession des intrants, la volatilité des prix du marché mondial, l'importance des impayés de crédits d'intrants, etc. Le développement de la filière cotonnière burkinabè dépend de la garantie des prix d'achat de coton graine aux producteurs et de la régularité du remboursement des crédits intrants. L'évolution des conditions défavorables à la production cotonnière a eu comme conséquence, la baisse tendancielle de la production qui chute de 713 000 t en 2005 à 347 000 t en 2007; en 2011 avec une production de 385 000 t on observe une tendance à la reprise suite à l'amélioration du prix au producteur qui passe de 155 FCFA en 2007 à 210 FCFA en 2011.

Connaissant le rôle moteur du coton dans les systèmes de production, quelle peut être l'influence de ce déclin du coton sur la production vivrière, la sécurité alimentaire et sur le revenu du producteur?

L'objectif global est d'évaluer l'impact du déclin du coton sur le revenu et la production alimentaire des producteurs de coton. Il s'agit spécifiquement d'évaluer l'impact de l'évolution défavorable des conditions de production du coton sur les revenus et la production alimentaire des producteurs.

## **2. Méthodologie**

### **2.1. Cadre théorique**

Cette recherche repose sur une mise en perspective des relations entre la culture du coton et la production céréalière d'une part et d'autre part la production et le revenu des autres cultures et de l'élevage. Pour ce faire, l'étude part du constat que les plans de campagnes des producteurs sont influencés par les conditions de production du coton notamment le prix d'achat du coton graine au producteur et le coût des intrants, et que la réaction des producteurs face à une évolution défavorable des conditions de production du coton dépendra de leur niveau d'équipement ou de richesse. La mise en perspective entre les différentes variables s'est faite à l'aide des méthodes de corrélation.

### **2.2. Choix de la zone d'étude**

La présente étude a été réalisée dans la zone cotonnière ouest du Burkina Faso dont l'opérateur est la SOFITEX. Cela s'explique par le fait que cette zone produit plus de 80% de la production nationale de coton (AICB, 2007) et abrite une diversité d'exploitations aux caractéristiques agro-économiques et socio-économiques différentes. Cette zone a aussi une importante contribution dans la production céréalière dont deux régions (la Boucle du Mouhoun et les Hauts Bassins) fournissent à elles seules 27% de la production céréalière nationale du pays (MAHRH, 2009). Aussi, dans ce contexte de crise cotonnière, cette zone peut présenter plusieurs cas de figure de la réaction des producteurs pour faire face à cette crise. Le choix des villages tient compte des caractéristiques agroclimatiques (notamment la pluviométrie), de l'existence des différents niveaux d'équipements et de la coexistence de la culture du coton et de celle des céréales.

### **2.3. Collecte et analyse des données**

L'unité d'étude est l'exploitation agricole, car c'est à ce niveau que se prennent les décisions techniques et de gestion, relatives au plan de campagne. Ainsi, 180 exploitations agricoles en zone cotonnière réparties sur trois provinces (soit 60 exploitations par provinces réparties dans deux villages par province) ont été enquêtées. Les sites ont été choisis de manière aléatoire en fonction de l'importance du coton dans la province. La province du Tuy représentée par les villages de Boni et Gombélédougou, la province de la Comoé représentée



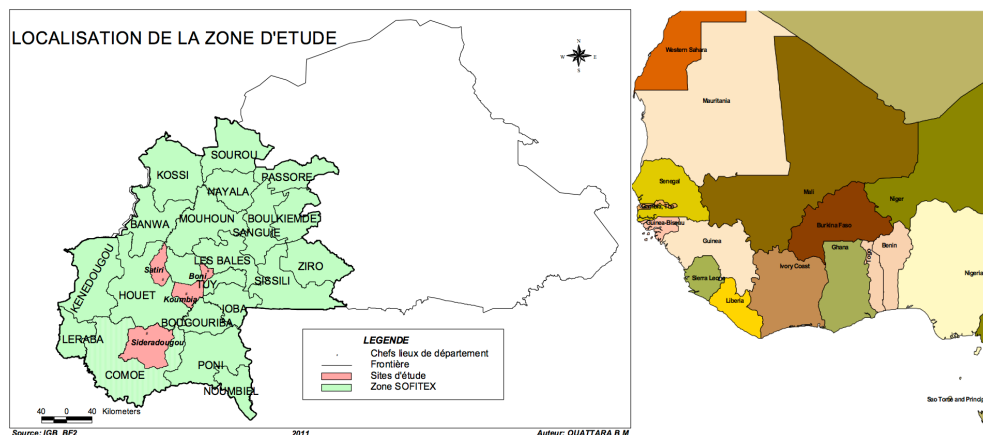


Figure 1. Zone d'étude.

par les villages de Sideradougou et Pion et la province du Houet représentée par les villages de Bala et Soukourani.

Le nombre de producteurs à enquêter par village a été tiré de manière aléatoire de la base de données de la SOFITEX et a permis d'établir une typologie basée sur le comportement des producteurs en fonction de leur superficie du coton suite à l'évolution défavorable des conditions de production du coton. Ainsi, les producteurs ayant augmenté ou maintenu leur superficie de coton entre 2005 et 2011 constituent le groupe 1 et représentent 39% de notre échantillon ; le groupe 2 est constitué par les producteurs qui l'ont réduit entre les deux périodes et représente 34% et enfin ceux qui ont abandonné ou presque la culture du coton forment le groupe 3 (27%).

Les données ont été collectées en 2011, à partir d'un questionnaire structuré comportant à la fois des questions fermées et des questions ouvertes. Les questions fermées se rapportent aux caractéristiques des exploitations, à leurs systèmes de production, aux revenus.

Des questions ouvertes et semi-ouvertes portaient sur l'organisation des producteurs, la gestion des intrants et des crédits, l'environnement organisationnel et institutionnel, etc.

Les questionnaires ont été administrés en un seul passage, dans les langues locales, par des enquêteurs. Les données ont été analysées à partir des statistiques descriptives et des corrélations à l'aide du logiciel SPSS.

## 2.4. Limites de l'étude

Cette étude présente des limites liées à la taille de l'échantillon et aux données sur la période considérée. Nous avons enquêté sur les années 2005 et 2011, or pour appréhender ce qui s'est réellement passé de 2005 à 2011, les données de suivi pluriannuel des exploitations étaient plus indiquées. L'échantillon pour certains types de producteurs était relativement faible pour faire des régressions ; pour plus de précision, il fallait avoir des résultats de suivi des exploitations sur la période 2005 et 2011.

### 3. Résultats et discussions

#### 3.1. Caractéristiques socio-économiques des exploitations

Le nombre de personnes par exploitation ainsi que le nombre d'actifs agricoles connaissent une augmentation entre 2005 et 2011 quel que soit le type d'exploitation (Tableau 1). Le nombre de bœufs de trait a légèrement augmenté de 10% pour le groupe 1 alors qu'il a régressé de 8,2% pour le groupe 2 et de 13,4% pour le groupe 3.

**Tableau 1.** Principales caractéristiques des types d'exploitations.

	2005	2011	Écarts (2011-2005)	Écarts %
<b>Nombre de personnes</b>				
Groupe 1 (Maintien)	14,3	16,5	2,2	15,3
Groupe 2 (Réduction)	12,0	12,8	0,8	6,6
Groupe 3 (Abandon)	7,5	8,8	1,3	17,2
<b>Nombre d'actifs</b>				
Groupe 1 (Maintien)	7,4	9,1	1,7	22,3
Groupe 2 (Réduction)	6,2	6,4	0,3	4,4
Groupe 3 (Abandon)	4,2	4,7	0,5	10,9
<b>Nombre de bœufs de trait</b>				
Groupe 1 (Maintien)	3,3	3,6	0,3	9,6
Groupe 2 (Réduction)	2,9	2,6	-0,2	-8,2
Groupe 3 (Abandon)	1,8	1,5	-0,2	-13,4
<b>Superficie moyenne</b>				
Groupe 1 (Maintien)	11,5	14,1	2,5	21,9
Groupe 2 (Réduction)	9,2	7,9	-1,3	-14,4
Groupe 3 (Abandon)	5,8	4,7	-1,1	-18,4

L'évolution défavorable des conditions de production du coton a eu une forte influence sur les superficies emblavées selon le type de producteur. La superficie moyenne emblavée estimée à 11,5 ha en 2005 pour le groupe 1, s'est accrue de 22% en 2011 alors que celle du groupe 2 et du groupe 3 sont réduites respectivement de 14,4% et de 18,4%.

Les producteurs du groupe 1 sont les plus équipés ce qui confirme le fait que le niveau d'équipement est déterminant dans la réaction du producteur face à n'importe quelle crise en occurrence le déclin du coton. Ces résultats confirment également ceux de Faure (1996) qui, face à la faible adoption des techniques de gestion intégré de la fertilité des sols (GIFS), souligne que les exploitations les mieux équipées ont plus de capacité à assurer la gestion de la fertilité des sols quand ils le jugeront nécessaire.

#### 3.2. Impact du déclin du coton sur les systèmes de cultures entre 2005 et 2011

##### 3.2.1. Cas des producteurs du groupe 1 (ceux ayant maintenu leur superficie en coton)

L'analyse montre une augmentation significative de la superficie du coton et du maïs au détriment de celle du sorgho. Quant aux autres cultures (arachide, sésame, niébé, soja), les superficies ont également augmenté (Tableau 2). L'analyse des résultats de ceux ayant maintenu la production du coton montre que la corrélation entre les superficies du coton et du maïs est significative et positive aussi bien en 2005 qu'en 2011 au seuil de 5% ( $r=0,866$  en 2005 et 2011).

Ce qui signifie qu'une augmentation de la superficie du coton s'accompagne d'une augmentation de celle du maïs toute chose étant égale par ailleurs. Cette évolution des superficies dans le même sens signifie le détournement des engrais du coton vers le maïs du moment qu'il n'existe pas un système d'approvisionnement en intrant pour la culture du

maïs. Ce taux de détournement est estimé à 30% des intrants coton sur le maïs (SOFITEX, 2009). Les intrants coton étant octroyés au producteur en fonction de la superficie emblavée en coton, alors plus la superficie du coton est grande plus les quantités des intrants destinées à la production du maïs sont importantes. L'augmentation de la superficie du maïs de près de 41 % permet au producteur de maintenir son revenu en vendant le maïs face à une baisse tendancielle des prix du coton depuis 2005.

Concernant les autres cultures, bien que leur superficie ait augmenté de 41,2 %, cette variation ne semble pas être liée à celle du coton. En effet, la corrélation entre la superficie du sorgho ainsi que celle des autres cultures et la superficie du coton n'est pas statistiquement significative même au seuil de 5%. Ces cultures ne faisant pas, le plus souvent, l'objet d'amendement minéral, l'augmentation de leurs superficies peut être liée à l'accroissement des besoins alimentaires des membres du ménage ou bien au développement des filières telles le niébé dont le marché est actuellement intéressant. Ceci peut être une stratégie de diversification des sources de revenus pour combler le manque à gagner du coton dont le prix était relativement faible.

**Tableau 2.** Évolution des superficies moyennes (en ha) par exploitation du groupe 1 entre 2005 et 2011.

Superficie moyenne	Coton	Maïs	Sorgho	Autres cultures
2005	6,00	3,625	0,46	0,17
2011	7,28	5,100	0,27	0,24

### 3.2.2. Pour les producteurs du groupe 2 (ceux ayant réduit leur superficie en coton)

Chez les producteurs du groupe 2, la réduction des superficies en coton s'est accompagnée de la diminution de celles de maïs soit 22,2 % et 17,9 % respectivement pour le coton et le maïs (Tableau 3). Ce lien est confirmé par le coefficient de corrélation élevé et significatif au seuil de 1 % (0,797) entre les deux cultures. Quant à la superficie du sorgho, elle est restée stable tandis que les superficies des autres cultures ont augmenté de façon spectaculaire soit 850 % d'augmentation en 2011. À défaut d'avoir suffisamment de l'engrais pour cultiver le maïs, le producteur mise sur le sorgho et les cultures peu exigeantes en intrants pour assurer sa sécurité alimentaire et améliorer son revenu.

**Tableau 3.** Évolution des superficies moyennes (en ha) des producteurs du groupe 2 entre 2005 et 2011.

Superficie moyenne	Coton	Maïs	Sorgho	Autres
2005	3,6	2,8	1,5	0,04
2011	2,8	2,3	1,5	0,38

### 3.2.3. Pour ceux du groupe 3 (ceux ayant abandonné ou presque la culture du coton)

La superficie moyenne emblavée par les producteurs du groupe 3 est inférieure à 0,5 ha en 2005 et subi une baisse de 61,4 % en 2011 (Tableau 4). Ceci s'est traduit par une baisse des surfaces octroyées au maïs soit 66,3 % tandis que le sorgho et les autres cultures ont pris de l'ampleur avec une augmentation de 38,5 % pour le sorgho et de 63,8 % pour les autres cultures. Par ailleurs la corrélation entre le maïs et le coton reste encore forte, soit 0,665 au risque de 1 %. Le producteur, en réduisant la superficie du maïs est obligé d'augmenter celles des autres cultures pour assurer ces besoins céréaliers.

**Tableau 4.** Évolution des superficies moyennes (en ha) par exploitation du groupe 3 entre 2005 et 2011.

Superficie moyenne	Coton	Maïs	Sorgho	Autres
2005	0,44	1,72	1,3	0,69
2011	0,17	0,58	1,8	1,13

Il ressort de l'analyse de l'évolution des superficies que les superficies du maïs et celles du coton évoluent dans le même sens. Il existe une corrélation forte entre ces deux cultures. Mais cette corrélation diminue avec la réduction des superficies du coton. Cela confirme l'opinion de certains auteurs comme EUREKA (2007) et Vognan (2010) selon laquelle les céréales bénéficient de la politique du développement du coton à travers les crédits d'intrants. Ces résultats confirment la corrélation positive entre le coton et les cultures céréalières (Schwartz, 1991).

Cependant, bien que la culture du maïs soit influencée par celle du coton, il existe un seuil à partir duquel le producteur peut produire le maïs indépendamment du coton. En d'autres termes, le producteur peut payer des engrais sur le marché avec ses moyens modestes pour produire le minimum du maïs dont il a besoin. C'est ce qui explique pourquoi le maïs ne disparaît pas totalement de l'exploitation même quand ce dernier abandonne pratiquement le coton. On observe aussi que l'abandon total de la culture du coton est très rare dans les zones d'enquêtes. En effet, la superficie du coton est très fortement réduite mais la petite superficie consacrée au coton lui permet de rester membre du groupement des producteurs de coton et de bénéficier des avantages qui en résultent comme la ristourne, un petit crédit intrant, etc.

### 3.3. Impact sur le revenu

Nous observons (Tableau 5) que la réduction des superficies de coton s'est accompagnée d'une réduction du revenu agricole de 22,4% en moyenne. Par rapport aux différents types de producteurs on observe une baisse de 44,2% du revenu agricole de ceux qui ont pratiquement abandonné le coton (groupe 3) et de 49% de celui du groupe 2 (ceux ayant réduit la culture du coton) tandis que le revenu agricole est amélioré de 1,5% chez ceux qui ont maintenu ou augmenté leur superficie de coton (groupe 1). Il s'en suit une baisse du revenu du coton de 69,3% chez les agriculteurs ayant réduit les superficies de coton, de 56,7% chez ceux qui ont pratiquement abandonnés le coton et de 20,7% chez les producteurs maintenant ou augmentant leur superficie de coton. Ce dernier cas s'explique par la baisse de la production cotonnière en 2011 par rapport à 2005.

Le revenu provenant de la vente de céréale a augmenté de 110% chez les producteurs ayant maintenu ou augmenté leur superficie de coton (groupe 1) et de 21,2% chez ceux ayant réduit le coton (groupe 2) tandis que ce revenu baisse de 8% chez ceux abandonnant le coton (groupe 3).

Le revenu des autres cultures a augmenté de 28,2% chez les producteurs abandonnant le coton, de 35,1% chez ceux qui réduisent le coton et de 12,1% chez ceux qui ont plus ou moins maintenu ou augmenté leur superficie de coton.

Le revenu procuré par la vente d'animaux s'est amélioré de 76,4% chez les producteurs abandonnant le coton et de 131,2% chez ceux qui ont réduit le coton tandis que ce revenu connaît une baisse de 23,5% chez ceux qui ont plus ou moins maintenu ou augmenté leur superficie de coton.

Le déclin du coton entraîne une baisse globale du revenu du producteur. On peut affirmer que les stratégies de diversifications développées par les producteurs n'ont pas suffi pour combler le gap laissé par la perte du revenu coton. Le fait que le revenu global soit corrélé avec la superficie du coton montre que nous sommes dans un système extensif où l'augmentation de la production reste liée à l'augmentation de la superficie.

Ces résultats sont conformes à ceux de Ouedraogo et al. (2003) qui montrent que la réduction des superficies cotonnières suite à la restriction du crédit intrant entraîne une baisse du revenu des producteurs.

**Tableau 5.** Évolution des revenus moyens par types d'exploitation entre 2005 et 2011.

	2005	2011	Écart (2001-2005)	Écart (%)
<b>Revenu coton (FCFA)</b>				
Groupe 1 (Maintien)	1 284 128	1 017 972	-266 156	-20,7
Groupe 2 (Réduction)	912 036	280 300	-631 736	-69,3
Groupe 3 (Abandon)	386 206	167 147	-219 059	-56,7
<b>Vente céréales (FCFA)</b>				
Groupe 1 (Maintien)	266 097	558 871	292 774	110,0
Groupe 2 (Réduction)	133 732	162 061	28 329	21,2
Groupe 3 (Abandon)	73 917	67 979	-5 938	-8,0
<b>Autres cultures (FCFA)</b>				
Groupe 1 (Maintien)	72 190	80 948	8 758	12,1
Groupe 2 (Réduction)	22 561	30 488	7 927	35,1
Groupe 3 (Abandon)	3 889	5 417	1 528	28,2
<b>Vente animaux (CFA)</b>				
Groupe 1 (Maintien)	43 358	33 190	-10 168	-23,5
Groupe 2 (Réduction)	40 207	92 945	52 738	131,2
Groupe 3 (Abandon)	15 167	26 750	11 583	76,4
<b>Revenu agricole (FCFA)</b>				
Groupe 1 (Maintien)	1 665 772	1 690 980	25 209	1,5
Groupe 2 (Réduction)	1 108 536	565 794	-542 742	-49,0
Groupe 3 (Abandon)	479 179	267 293	-211 885	-44,2
Revenu Moyen	1 084 495	841 356	-243 140	-22,4

### 3.4. Impact sur la couverture céréalière des producteurs

Nous observons que la réduction ou l'abandon de la culture du coton ne compromet pas l'autosuffisance alimentaire des producteurs de la zone. En effet, tous les types de producteurs ont un taux de couverture céréalière supérieur à 105 %. Les producteurs qui maintiennent ou augmentent les superficies de coton, enregistrent des taux de couvertures céréalières de 221 et 254 % en 2005 et 2011 contre 148 et 142 % pour ceux ayant pratiquement abandonné le coton. Ces taux sont de 159 % en 2005 et 105 % en 2011 pour ceux qui ont réduit leur superficie en coton (Tableau 6).

## 4. Conclusion

Cette évaluation montre une évolution des systèmes de production en réaction au déclin relatif du coton qui traduit une réduction de la superficie en coton et de celle en maïs au profit des cultures moins exigeantes en fertilisants minéraux comme le sorgho, le niébé, le sésame et le soja. Ainsi, la production du maïs est corrélée avec celle du coton.

La réduction de la superficie du coton entraîne une baisse du revenu global de l'exploitation ce qui confirme le rôle prépondérant du coton dans la formation des revenus agricoles. L'élevage est intervenu de manière importante dans la formation des revenus des producteurs ayant réduit ou pratiquement abandonné le coton ce qui fait de lui une alternative pour combler le manque à gagner avec la perte sur le revenu coton. Le recul du coton n'empêche pas un producteur d'assurer la couverture céréalière mais favorise une baisse des revenus.

**Tableau 6.** Évolution des taux de couverture céréalière.

	Population 2005	Population 2011	Production 2005	Production 2011
<b>Production céréalière</b>				
Groupe 1 (Maintien) (kg)			5 982	8 200
Groupe 2 (Réduction) (kg)			3 617	2 592
Groupe 3 (Abandon) (kg)			2 245	2 436
<b>Besoins autoconsommation</b>				
Groupe 1 (Maintien) (190 kg/pers/an)	14	17	2 712	3 230
Groupe 2 (Réduction) (190 kg/pers/an)	12	13	2 280	2 470
Groupe 3 (Abandon) (190 kg/pers/an)	8	9	1 520	1 710
<b>Taux de couverture céréalière</b>				
Groupe 1 (Maintien) (%)			221	254
Groupe 2 (Réduction) (%)			159	105
Groupe 3 (Abandon) (%)			148	142
<b>Surplus commercialisable</b>				
Groupe 1 (Maintien) (kg)			3 269	4 970
Groupe 2 (Réduction) (kg)			1 337	122
Groupe 3 (Abandon) (kg)			725	726

L'étude montre que les liaisons entre le secteur du coton, des céréales et l'élevage sont multiples, ce qui nous amène à parler d'un système de production 'coton-céréales-élevage'. Ainsi, toute tentative d'amélioration de la production du coton au Burkina Faso visant à améliorer les revenus des exploitations et l'utilisation des ressources naturelles devra impérativement valoriser et tenir compte des impacts que peut avoir un changement des pratiques culturelles, ou des conditions de culture, dans le coton sur les autres composantes des systèmes de production 'coton-céréales-élevage'.

## Bibliographie

- AICB, 2007. *Note d'information sur la filière coton du Burkina Faso*. AICB (Association interprofessionnelle du coton du Burkina Faso), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 22 p.
- AGRER, 2007. *Stratégies de développement durable de la filière coton*. Rapport. AGRER, Bruxelles.
- EUREKA, 2007. Production cotonnière au Burkina Faso. La recherche, un maillon essentiel. *EUREKA*, 50. (Trimestriel du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), Burkina Faso).
- FAO/BAD, 2006. *Programme multinational d'amélioration de la compétitivité de la filière coton textile. Programme de coopération FAO/BAD. Rapport Principal de préparation au Mali, Burkina Faso, Tchad et Bénin*. Volume 1. Version révisée. FAO, Rome.
- Faure G., 1996. *Analyse des performances des exploitations dans l'ouest du Burkina Faso suivant le niveau de mécanisation. Rapport de recherche*. CIRAD, Ouagadougou.
- INSD, 2006. *Annuaire 2007*. INSD (Institut National de la statistiques et de la Démographie), Ouagadougou.
- MAHRH, 2009. *Situation de référence des performances du secteur rural au Burkina Faso*. Rapport final, MAHRH (Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques), Ouagadougou, 146 p.
- MEF, 2010. *Situation de référence du secteur agricole au Burkina Faso*. Rapport d'étude. MEF (Ministère de l'Économie et des Finances), Ouagadougou.

- Poda S.A., 2004. *Coton et sécurité alimentaire dans la zone cotonnière de l'ouest du Burkina Faso*. Mémoire de fin d'étude, IDR/Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 75 p.
- Ouedraogo D., Vognan G., 2003. *Impact de la restriction du crédit intrant sur les systèmes de cultures et le revenu des producteurs en zone cotonnière*. Rapport de recherche. Programme Coton/INERA, Ouagadougou, 32 p.
- Schwartz A., 1991. *L'exploitation agricole de l'aire cotonnière burkinabé : caractéristiques sociologiques, démographiques, économiques*. ORSTOM, Ouagadougou, 88 p.
- SOFITEX, 2007. *Rapport annuel d'activités 2006-2007 et perspectives pour la campagne 2007-2008*. SOFITEX, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 84 p.
- SOFITEX, 2009. *Rapport d'activités agricoles bilan du plan de relance*. SOFITEX, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 87 p.
- Sou S., 2010. *Les biotechnologies et la culture du coton : expérience du Burkina Faso*. Présentation SOFITEX, 8<sup>èmes</sup> journées de l'Association Cotonnière Africaine. Yaoundé – 11, 12 et 13 mars 2010. SOFITEX, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
- Vognan G., Lalba A., 2003. *Dynamique d'intensification des systèmes de production mixtes « coton-céréales-élevage » dans l'Ouest du Burkina Faso*. In : « Bonnes pratiques agricoles dans l'Ouest du Burkina Faso ». Atelier du 18-20 mars 2004. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 30 p.
- Vognan G., 2010. *Rapport du suivi des impacts socio-économiques du projet d'Appui à la Filière Cotonnière et textiles (PAFICOT)*. Burkina Faso, 112 p. + annexes.



## Évaluation de l'arrière effet de la culture du coton sur la production céréalière en zone cotonnière du Mali

Sissoko Fagaye, IER, E-mail : fagayessoko@yahoo.fr  
 Coulibaly Doubangolo, IER, E-mail : doubangolo@yahoo.fr  
 Cisse Ousmane, CMDT, E-mail : ocisse@yahoo.fr  
 Dugué Patrick, CIRAD, E-mail : patrick.dugue@cirad.fr

### Résumé

Au Mali, l'agriculture est l'activité principale de 80% de la population. Aujourd'hui, l'accroissement de la pression anthropique sur les ressources agro-sylvo-pastorales est un problème important dans la gestion territoriale. L'agriculture s'exerce dans des conditions climatiques aléatoires avec des risques importants de sécheresse et d'inondation au cours de la campagne agricole. Les systèmes de cultures pluviaux sont dépendants de la pluviométrie ce qui rend difficile tous processus d'intensification. Le coton est une culture stratégique pour les producteurs de la zone cotonnière. Cependant, une baisse tendancielle des rendements du coton est constatée depuis plusieurs années ce qui affecte les rendements des autres cultures, notamment les céréales. La baisse de la fertilité a été identifiée comme une des raisons de la baisse des rendements. Les systèmes agricoles actuellement pratiqués au Mali ne mettent pas un accent particulier sur l'intensification durable. Les producteurs ne sont pas très regardants sur la performance des variétés (des variétés traditionnelles souvent peu performantes sont utilisées par méconnaissance), les itinéraires techniques sont mal appliqués (pas d'apport de fumure sur la plupart des céréales sèches, les entretiens culturaux sarclages et buttages mal exécutés), l'intégration de l'agriculture à l'élevage n'est pas bien assurée (mauvaise utilisation de la biomasse produite, mauvais entretien des animaux de trait). À part le coton dans une moindre mesure, la protection phytosanitaire des cultures est inexistante. Face à cette situation, des propositions d'intensification durable doivent être faites afin de permettre aux producteurs de se maintenir dans un environnement incertain. Les rendements du coton, du sorgho et du mil avoisinent la tonne par hectare. La faiblesse des rendements du sorgho et du mil s'explique par la non-fertilisation, par utilisation des variétés traditionnelles certes adaptées aux conditions agro-écologiques mais peu productives, par le non-renouvellement des stocks de semences. Elles bénéficient de l'arrière effet de la fertilisation organo-minérale apportée sur le cotonnier. Cependant, l'utilisation de nouvelles semences permet de doubler voire tripler ces niveaux de rendements. On retient que l'amélioration de la productivité des cultures de céréales passe par une bonne gestion des ressources naturelles, une meilleure intégration de l'élevage et de l'agriculture et une bonne gestion des intrants ce qui permettra d'assurer la sécurité alimentaire.

### Assessment of the rear effect of cotton cultivation on cereal production in cotton zone of Mali

In Mali, agriculture is the main activity of 80% of the population. Today, the growth of the anthropic pressure on pastoral agro-sylvo resources is an important problem in territorial management. Agriculture is done in uncertain climatic conditions with important risks of drought and flooding during growing season. The systems of pluvial cultures are dependent of the rainfall what makes all processes of intensification difficult. Cotton is a strategic culture for producers in cotton zone. However, cotton yield is decreasing since several years what affects cereals yields. Soil fertility decrease has been identified like one the reasons. In Mali, current agricultural practiced systems don't put a particular accent on intensification. The producers are not very stingy on varieties performance (traditional varieties with often little performance are used by ignorance), technical itineraries are badly applied (no manure applied in dry cereals, weeding and buttagge badly executed), agriculture and raising integration are not well assured (bad use of biomass produced, bad maintenance of feature animals). Only cotton is protected. Facing this situation, intensification propositions must be made in order to allow producers to maintain itself/themselves in an

uncertain environment. Cotton, sorghum and millet yield are last than 1 000 kg by hectare. The weakness of sorghum and millet yield can be explained by no fertilization, by the use of traditional varieties certainly adapted to agro-ecological conditions but little productive, by the no renewal of seeds stocks. Cereals benefit the rear effect of the organo-mineral fertilization brought on cotton. However, the use of news seeds permits to duplicate or even triple yields. One keeps that the improvement of the productivity of cereals pass by good management of natural resources, a better integration of raising and agriculture and a good management of the inputs what will permit to assure food security.

## 1. Introduction

Le coton est une culture stratégique au sein des systèmes de culture des exploitations familiales agricoles des pays de l'Afrique de l'Ouest, de l'Est et du Centre. Le Mali est un pays à vocation largement agricole dont l'agriculture est l'activité principale de 80 % de sa population (Direction nationale de l'agriculture, 2012). Depuis les années 1990, une baisse tendancielle des rendements du coton a été constatée dans la zone cotonnière du Mali, par ricochet cette baisse de rendement a également affecté les rendements des autres cultures, notamment les céréales. En effet, l'agriculture s'exerce dans des conditions climatiques aléatoires avec des risques importants de sécheresses et d'inondations au cours de la campagne agricole. De manière générale, la pluviométrie diminue du Sud vers le Nord. La production agricole subit, en conséquence, des fluctuations importantes liées au démarrage tardif de la saison des pluies et très souvent par un arrêt précoce des précipitations (Traoré et al., 2000).

La jachère de longue durée qui était utilisée pour la restauration de la fertilité des sols est rare ou inexistante dans l'assolement des systèmes de culture (Harmand, Ballé 2001 ; Roose 2007). Aujourd'hui, l'accroissement de la pression anthropique sur les ressources agro-sylvo-pastorales pose à son tour des problèmes importants de gestion territoriale, et des risques potentiels de dégradation des ressources naturelles.

Au Mali Sud, la baisse de la fertilité a été identifiée comme une des raisons de la baisse des rendements (Pieri, 1989 ; Bationo, Mokwunye, 1991 ; Van der Pol, 1992). Depuis plusieurs décennies, la CMDT a fourni de gros efforts pour le développement de la culture du coton en mettant l'accent sur le maintien voire l'amélioration de la fertilité des sols à travers un système de rotation coton-céréale-céréale-coton.

La production céréalière est essentiellement constituée de cultures pluviales dans les zones cotonnières du Mali. Le mil et le sorgho sont cultivés dans toutes les zones ayant une pluviométrie annuelle supérieure à 600 mm. Le maïs qui joue un rôle très important dans l'alimentation des populations de la zone cotonnière est surtout cultivé dans les régions ayant une pluviométrie annuelle supérieure à 800 mm.

La population du Mali Sud continue d'augmenter, alors que les surfaces agricoles ne peuvent guère croître au-delà de leur niveau actuel. Il faudra pourtant que l'agriculture continue de nourrir et sans doute, de vêtir cette population grandissante. C'est fort de ce constat que les paysans utilisent actuellement des variétés performantes et cherchent à mieux valoriser l'arrière effet de la fertilisation apportée sur le cotonnier. La pérennisation des systèmes de culture nécessite une utilisation d'engrais minéraux et de fumure organique (Gigou et al., 2004). Au même moment, il est constaté que les superficies de certaines céréales comme le mil et le sorgho qui ne sont généralement pas fertilisées sont cultivées sur les terres marginales les plus pauvres (Kouressy et al., 2003).

Face aux difficultés que connaissent les producteurs de la zone cotonnière, des propositions d'intensifications durables doivent être faites afin de leur permettre de se maintenir dans un environnement incertain. Le présent article montre l'importance de l'arrière effet de la fertilisation apportée à la culture de coton sur le rendement des céréales.

## 2. Matériels et méthodes

Deux types de démarches ont été adoptés pour l'évaluation de l'arrière effet de la culture du coton sur la production céréalière en zone cotonnière du Mali : (1) l'analyse des données collectées par la CMDT sur l'ensemble de la zone cotonnière et (2) une expérimentation faite sur la grille de fertilisation en fonction de l'âge de mise en culture après une jachère.

### 2.1. Sites

Délimité par les frontières de la Guinée et de la Côte d'Ivoire au Sud, le Burkina Faso à l'Est et le fleuve Niger au Nord, le Mali Sud couvre administrativement toute la région de Sikasso et partiellement les régions de Koulikoro, Ségou et la nouvelle zone cotonnière (Kayes) (Figure 1). Il couvre 13 préfectures, 79 sous-préfectures (communes) et 3 505 villages. Sa superficie est environ 106 000 km<sup>2</sup> (Bosma et al., 1992) à 122 000 km<sup>2</sup> (Berthé et al., 1991) soit 9 à 10 % de la superficie nationale et 36 % de la superficie non désertique du pays. La zone du Mali Sud est le grenier du pays et nourrit près d'un tiers de la population malienne. Elle est comprise entre les isohyètes de 600 mm au nord et peut dépasser 1 200 mm au Sud.

Les données de la CMDT ont été collectées sur l'ensemble de la zone cotonnière et pendant les 10 dernières années de 2003/2004 à 2012/2013. Les données collectées ont concerné le coton, le sorgho, le maïs et le mil. Pour cette présentation, l'analyse des systèmes de rotation n'a pas été faite. Les données collectées ont concerné le coton, le mil, le sorgho et le maïs.

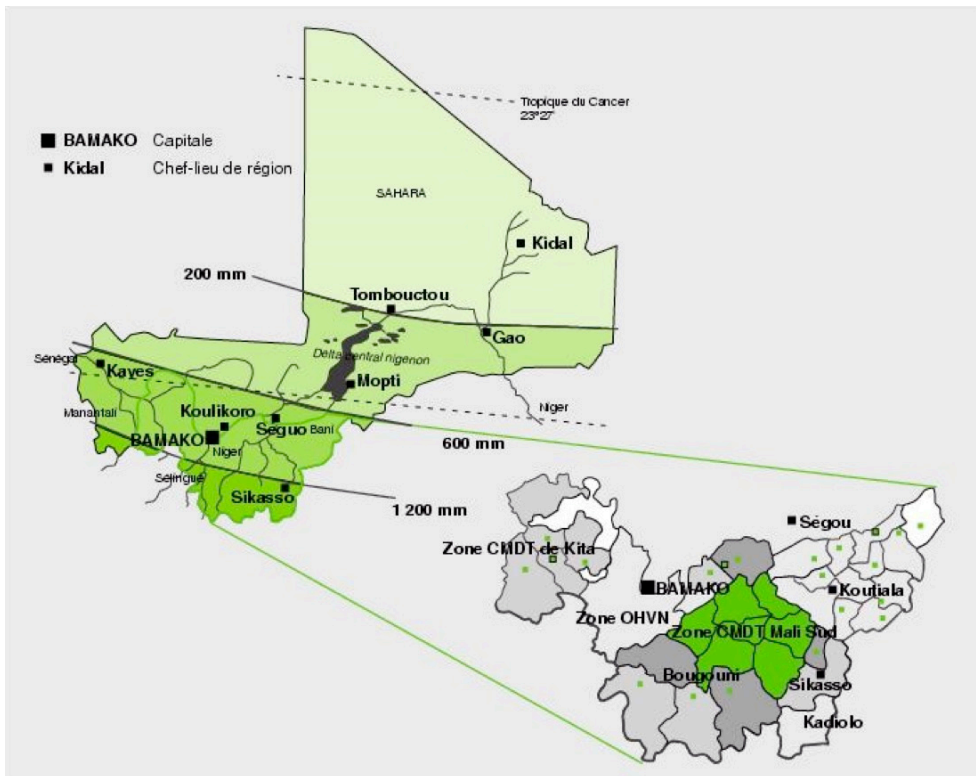


Figure 1. Carte du Mali et localisation de la zone cotonnière du Mali Sud.

Source : Djouara et al., 2006.

La deuxième série de données provient des expérimentations conduites en milieu paysan et en stations de recherche agronomique. Ces expérimentations ont été conduites pendant les campagnes agricoles 2010-2011 et 2011-2012 en milieu paysan dans la filiale Nord (Secteurs de M'Péssoba, Molobala, Bla et Yangasso) et dans la filiale Sud (Secteurs de Niéna, Koumantou et Bougouni) et en stations de recherche agronomique (N'Tarla et Farako). La pluviométrie des zones d'étude varie de 700 à 1400 mm par an. La durée de la saison de croissance des cultures varie de 120 à 140 jours. Les reliefs des zones sont constitués de plaines, de glaciés d'accumulation, de surfaces sommitales plates et de dépôts alluviaux. Les caractéristiques des sols sont résumées dans le tableau 1, ils sont de type argileux, argilo-limoneux, limono-sableux et gravillonnaire sur des pentes généralement faibles et peuvent être considérés comme initialement pauvres.

**Tableau 1.** Caractéristiques physiques et chimiques des sols des sites d'étude pour les échantillons prélevés entre 0 et 20 cm.

Variables	Seuil pour la culture du coton	Pourcentage au-dessous du seuil	Seuil pour la culture du maïs	Seuil pour la culture du sorgho
pH eau	5,50	17	5,0	4.7
Matière organique (%)	0,60	32	-	-
C/N	<15	74	-	-
Phosphore assimilable (mg/kg)	7	12	5	4
Potassium échangeable (me/100 g)	0,20	64	0,08	0,10
Magnésium échangeable(me/100 g)	0,50	54	0,17	0,10
K/Mg	0,04-0,33	56	0,25	-0,25
Mg/K	3-25	51	4	4-5
CEC (me/100 g)	< 3	61	1,5-3	1,5-3

## 2.2. Méthodes

### 2.2.1. Dispositif de collecte des données de la CMDT

Les données sont collectées au niveau des différentes Zones de Production Agricole (ZPA). Une première compilation est faite au niveau des secteurs. Après vérification, elles sont envoyées au niveau des filiales. Un service de statistique existe au niveau de chaque filiale. Les données sont traitées puis envoyées au niveau de la direction générale à Bamako.

### 2.2.2. Dispositif expérimental de la culture du coton

En milieu paysan, le dispositif utilisé était en blocs de Fisher. Pour chaque fourchette d'âge (nombre d'années de mise en culture continue après une jachère), le test comportait 3 traitements en 2 répétitions, avec des parcelles élémentaires de 20 m × 12,8 m (256 m<sup>2</sup>). L'écartement de semis était de 0,80 m × 0,30 m avec 2 plants/poquet.

En station, l'essai était construit en blocs de Fisher (5 traitements en 4 répétitions) avec des parcelles élémentaires de 12 m × 6,4 m (76,8 m<sup>2</sup>). L'écartement de semis était de 0,80 m × 0,30 m avec 2 plants/poquet.

La variété de semence utilisée est la STAM 59 A, elle a été traitée avec du Caïman rouge (25 % endosulfan + 25 % thirame (TMTD) à la dose de 10 g/10 kg de semences) avant le semis.

Le complexe coton (14N-18P-18K-6S-1B) et l'urée ont été utilisés comme fumure minérale. Chaque paysan a produit sa fumure organique. Celle apportée dans les essais a été produite dans les stations de recherche.

Le traitement insecticide était calendaire (chaque 14 jours) et deux types d'insecticides ont été utilisés. Les deux premiers traitements insecticides ont été faits avec du TENOR 500

(profenofos 500 g/l) à la dose de 1 litre/ha et les quatre derniers traitements ont été effectués avec du CAPT 88 EC (cyperméthrine/acétamiprid à 72/16 g/l) à la dose de 0,5 litre/ha.

Trois grilles de fertilisation ont été utilisées en milieu paysan en fonction de trois fourchettes d'âge de mise en culture continue des parcelles élémentaires après une jachère : (1) parcelles de moins de 10 ans en culture après une jachère ; (2) parcelles entre 10 et 20 ans en culture après une jachère et (3) parcelles de plus de 20 ans en culture après une jachère. Les différentes quantités de fertilisant utilisées figurent dans les tableaux 2 et 3.

**Tableau 2.** Teneurs en éléments fertilisants des différents traitements en milieu paysan.

Traitements	Années de mise en culture après une jachère	
	< 10 ans	– 20 ans
T1	T1	T1
T2	2 tonnes F.O. + T1	3 tonnes F.O. + T1
T3	5 tonnes F.O. + T1	5 tonnes F.O. + T1

T1 = 43N-27P-27K+9S-1,5B – F.O. : fumure organique.

**Tableau 3.** Teneurs en éléments fertilisants des différents traitements en station.

Traitements	Stations de recherche (N'Tarla et Farako)
T1	43N-27P-27K+9S-1,5B
T2	2 tonnes F.O. + T1
T3	3 tonnes F.O. + T1
T4	5 tonnes F.O. + T1
T5	10 tonnes F.O. + T1

### 2.2.3. Dispositif expérimental de la culture des céréales

Après une première année de culture en coton, l'évaluation de l'arrière effet de la fertilisation est faite dans les différentes parcelles. En milieu paysan, en fonction du choix du producteur certaines parcelles ont été emblavées en maïs (SOTUBAKA), en sorgho ou en mil (variétés locales). En station de recherche, la variété de maïs "SOTUBAKA" a été utilisée.

La fertilisation minérale apportée (complexe céréale 15N-15P-15K, urée 46N) est uniforme sur le maïs dans toutes les parcelles élémentaires aussi bien en milieu paysan qu'en station de recherche (100 kg de complexe céréale/ha + 150 kg d'urée/ha). Dans les parcelles de sorgho et de mil, 100 kg de complexe céréale/ha + 50 kg d'urée/ha ont été apportés. Aucune fumure organique n'est apportée lors de l'évaluation de l'arrière effet.

Le rendement des différentes céréales a été évalué à la récolte. L'analyse de la variance a été faite avec le logiciel Statbox et le test de Newman Keuls à 5% a été choisi pour la comparaison des moyennes.

La marge brute a été calculée par soustraction du coût des charges variables du montant total du produit brut de la production du coton et du maïs. Le taux marginal de rentabilité a ensuite été évalué par la relation suivante : (marge brute du traitement)-(marge brute du témoin)/(charge du traitement)-(charge du témoin).

### 2.2.4. Conditions de réalisation de l'étude

La pluviométrie enregistrée à Farako au cours de la campagne 2010-2011 est de 1 118 mm en 90 jours contre 998,2 mm en 76 jours en 2011-2012. À N'Tarla, le cumul enregistré en 2010-2011 est de 1 249 mm en 70 jours de pluie contre 712,5 mm en 76 jours. La pluviométrie enregistrée dans les deux stations montre une variabilité dans le cumul interannuel.

La répartition montre une grande disparité dans l'espace et dans le temps. Ainsi, pendant les deux campagnes, dans la filiale Sud, le démarrage de la pluviométrie a été difficile. Le mois

de juin qui correspond à la période des semis a été très peu arrosé. À partir du mois de juillet, les pluies se sont bien installées.

Dans la filiale Nord, le démarrage a été également difficile, avec des poches de sécheresse dans les deuxième et troisième décades du mois de juin. Les deux premières décades du mois de juillet n'ont pas été bien arrosées par localité. La troisième décade du mois de juillet a été très pluvieuse. En octobre, des pluies ont été enregistrées dans toutes les localités.

Dans les deux zones d'étude, l'itinéraire technique a été bien suivi d'une manière générale par les producteurs en milieu paysan de la filiale Nord et de la filiale Sud.

### 3. Résultats

#### 3.1. Données collectées en zone cotonnière au Mali Sud

##### 3.1.1. Évolution des superficies cultivées

À partir de 2005/2006, une baisse des superficies cultivées en coton est constatée jusqu'en 2009/2010 (Figure 2). Ces trois dernières années les superficies cultivées en coton ont considérablement augmenté de 285 985 ha en 2010/2011, elles ont atteint 521 436 ha en 2012-2013 soit une augmentation de 82,33%. Cette augmentation des superficies cultivées s'explique par le prix d'achat du coton au producteur et la subvention accordée sur les intrants.

Par rapport aux céréales, les plus grandes superficies sont cultivées en sorgho suivi du mil. Sur les dix ans, la superficie moyenne du sorgho est de 478 948 ha contre 346 992 ha pour le mil. Paradoxalement, les superficies cultivées en maïs sont les plus faibles, la moyenne sur les dix ans est de 268 459 ha. L'évolution des superficies cultivées en mil et en sorgho sont constantes. Cela peut s'expliquer par la position stratégique de ces deux céréales dans l'alimentation des populations.

L'évolution des superficies cultivées en maïs suit la même tendance que celle du coton. Cela confirme le fait que le maïs bénéficie de l'arrière effet de la culture du coton. Quand les superficies cultivées en coton diminuent, il y a une répercussion directe sur les superficies du maïs.

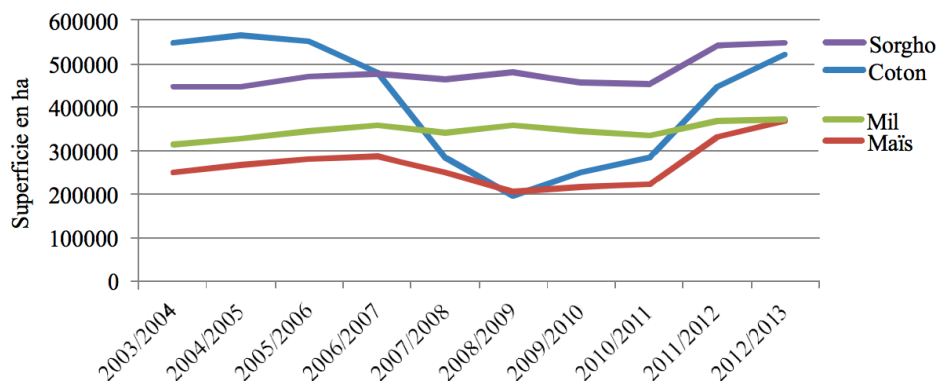
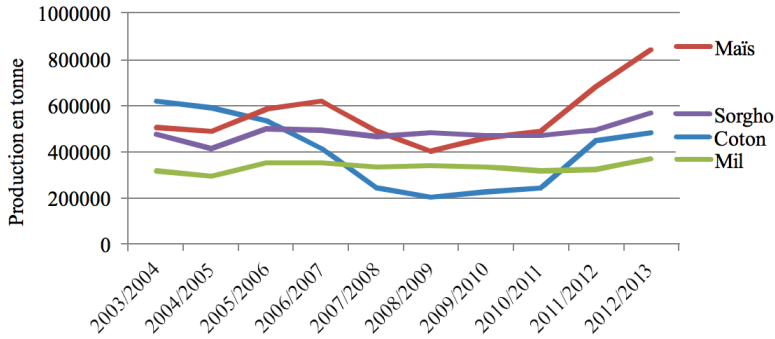


Figure 2. Évolution des superficies cultivées en coton, en maïs, en mil et en sorgho pendant les dix dernières années (2003/2004 à 2012/2013) dans la zone cotonnière au Mali.

##### 3.1.2. Évolution de la production

La production de coton suit la même évolution que les superficies cultivées. La réduction des superficies joue directement sur la quantité de coton graine produite. La réduction des superficies n'entraîne pas une amélioration de la production.

Les productions du sorgho et du mil sont constantes, avec une production plus élevée pour le sorgho (Figure 3).



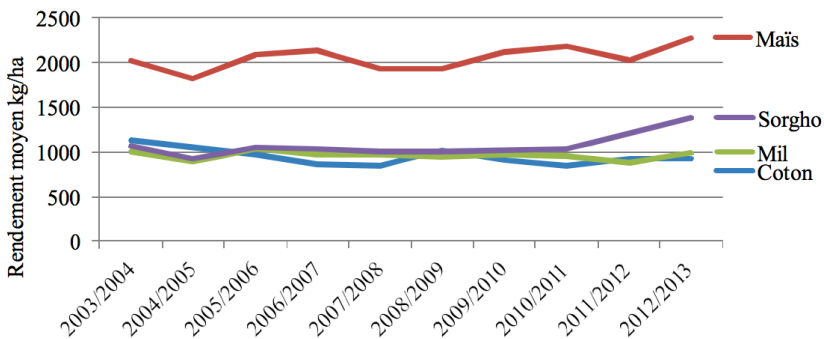
**Figure 3.** Évolution de la production du coton, du maïs, du mil et du sorgho pendant les dix dernières années (2003/2004 à 2012/2013) dans la zone cotonnière au Mali.

D'une manière générale, la production du maïs est supérieure à celle du sorgho et du mil. Mais quand les superficies emblavées en coton sont très faibles, la production du maïs qui vient après le coton est très faible. Dans ces conditions, la production de sorgho peut être supérieure à celle du maïs (c'est le cas en 2008/2009).

### 3.1.3. Évolution des rendements

Les rendements des trois cultures (coton, sorgho et mil) sont sensiblement les mêmes, ils avoisinent la tonne par hectare. La faiblesse des rendements du sorgho et du mil s'explique par la non-fertilisation, par l'utilisation des variétés traditionnelles certes adaptées aux conditions agro-écologiques mais peu productives, par le non-renouvellement des stocks de semences.

La figure 4 montre que le rendement du maïs est le double des rendements obtenus avec le sorgho et le mil. Cette amélioration du rendement du maïs s'explique entre autres par les arrière effets de la fertilisation du cotonnier, par l'utilisation de la fertilisation organique et minérale, par l'utilisation et le renouvellement des variétés améliorées.



**Figure 4.** Évolution des rendements du coton, du maïs, du mil et du sorgho pendant les dix dernières années (2003/2004 à 2012/2013) dans la zone cotonnière au Mali.

## 3.2. Expérimentations conduites en milieu paysan et en stations

### 3.2.1. Zone de production (Filiale) Sud

Les résultats obtenus avec les différentes cultures figurent dans le tableau 4. Les meilleurs rendements avec le maïs sont obtenus dans les parcelles dont les âges de mise en culture



continue sont situés entre 10 et 20 ans. L'arrière effet de la fertilisation apportée sur le coton à la dose de 5 tonnes de fumure organique par hectare (T3) a donné les meilleurs rendements.

**Tableau 4.** Rendements (kg/ha) obtenus dans les différentes parcelles dans la filiale Sud.

Cultures	Traitements	Âge des parcelles		
		moins de 10 ans	entre 10 et 20 ans	plus de 20 ans
Maïs	T1	1 884	3 563	1 619
	T2	2 514	4 080	1 992
	T3	3 278	4 880	2 205
	Moyenne	2 558	4 174	1 939
	Probabilité	0,19	0,22	0,18
	CV (%)	18,5	12	10
Sorgho	T1	1 027		
	T2	1 066		
	T3	1 364		
	Moyenne	1 152		
	Probabilité	0,17		
	CV (%)	10,33		

T1 témoin : 150 kg de complexe coton/ha + 50 kg urée/ha, T2, T3 : voir tableaux 2 et 3.

Les rendements obtenus avec le sorgho sont faibles, pas de différence significative entre les traitements. Les producteurs qui ont des parcelles dont les âges de mise en culture sont entre 10 et 20 ans et plus de 20 ans n'ont pas fait de sorgho dans la zone Sud.

### 3.2.2. Zone de production (Filiale) Nord

Dans la filiale Nord, aucune différence significative n'a été observée entre les traitements pour toutes fourchettes d'âges de mise en culture continue (Tableau 5). Les meilleurs rendements sont obtenus dans les parcelles de moins de 10 ans. Les producteurs qui ont des parcelles dont les âges sont entre 10 et 20 ans et plus de 20 ans n'ont pas fait de mil dans la zone nord.

**Tableau 5.** Rendements (kg/ha) obtenus dans les différentes parcelles de la filiale Nord.

Cultures	Traitements	Âge des parcelles		
		moins de 10 ans	entre 10 et 20 ans	plus de 20 ans
Maïs	T1	2 894	2 527	2 412
	T2	2 804	2 602	2 797
	T3	3 092	2 763	2 387
	Moyenne	2 930	2 631	2 532
	Probabilité	0,45	0,09	0,42
	CV (%)	6,5	2,1	11
Mil	T1	1 130		
	T2	1 055		
	T3	1 091		
	Moyenne	1 092		
	Probabilité	0,93		
	CV (%)	12		

T1 témoin : 150 kg de complexe coton/ha + 50 kg urée/ha, T2, T3 : voir tableaux 2 et 3.

### 3.2.3. Stations

Les analyses statistiques ne montrent pas de différence significative entre les rendements obtenus avec les différents traitements (Tableau 6).

**Tableau 6.** Rendements (kg/ha) obtenus en kg/ha à Farako et à N'Tarla.

Traitements	Station Farako	Station N'Tarla
T1 : témoin	3 203	2 141
T2 : 2 tonnes de F.O. / ha + T1	3 453	2 070
T3 : 3 tonnes de F.O. / ha + T1	3 296	2 341
T4 : 5 tonnes de F.O. / ha + T1	3 740	2 716
T5 : 10 tonnes de F.O. / ha + T1	3 648	2 612
Moyenne	3 468	2 376
CV (%)	8	19,37
Probabilité	0,39	0,26

### 3.2.4. Évaluation du taux marginal de rentabilité en milieu paysan

Les meilleurs taux marginaux de rentabilité sont obtenus avec le traitement T3 quand les parcelles ont moins de 10 ans ou entre 10 et 20 ans (Tableau 7).

**Tableau 7.** Évaluation du taux marginal de rentabilité (F CFA) dans une rotation coton-maïs dans les différentes filiales en milieu paysan.

Filiale	Traitements	Âge de mise en culture des parcelles après une jachère							
		moins de 10 ans			10 à 20 ans			plus de 20 ans	
		Charge Coton + Maïs	Marge Coton + Maïs	Taux marginal de rentabilité	Charge Coton + Maïs	Marge Coton + Maïs	Taux marginal de rentabilité	Charge Coton + Maïs	Marge Coton + Maïs
Nord	T1	137 700	459 485		137 700	440 635		137 700	381 960
	T2	177 700	426 295	-0,83	197 700	431 485	-0,15	237 700	362 535
	T3	237 700	420 340	-0,39	237 700	475 415	0,34	337 700	235 815
Sud	T1	137 700	364 860	-	137 700	611 915	-	137 700	497 990
	T2	177 700	392 960	0,70	197 700	633 600	0,36	237 700	520 970
	T3	237 700	503 455	1,38	237 700	775 855	1,64	337 700	418 045

T1, T2, T3 : voir tableaux 2 et 3.

## 4. Discussions

En Afrique de l'Ouest et principalement au Mali, l'alimentation des populations se fait exclusivement sur la base des céréales sèches (riz, maïs, sorgho, mil, ...). Dans la zone cotonnière du Mali, les systèmes de cultures qui intègrent le coton et les céréales contribuent beaucoup à la sécurité alimentaire et à l'économie des exploitations agricoles. Dans les systèmes de rotation, le maïs vient après la culture du coton. Le coton est généralement la culture qui reçoit la fertilisation (fumures organiques et minérales). En dehors du coton, c'est la culture du maïs qui reçoit prioritairement les intrants. Cependant, il faut noter que l'utilisation de la fumure organique et minérale est très faible, moins de 20% des superficies cultivées au Mali sont fertilisées avec les engrais minéraux (Kieft et al., 1994). Avant les années 1970, les superficies cultivées en coton étaient de 66041 ha. La culture du maïs occupait une place négligeable en termes de superficie (abords immédiats des villages). Le maïs était surtout destiné à l'autoconsommation et jouait un rôle important pendant la période de soudure.

En 1976, les superficies de coton ont dépassé les 100 000 ha et le maïs a commencé à prendre de l'importance avec le lancement de l'action maïs en 1972 par la CMDT qui a été accélérée en 1976 avec le projet Mali-Sud I. Cette action s'est intensifiée à partir de 1980 avec le volet maïs du projet FAC-CCCE (Ancey, 1983). Les variétés utilisées étaient traditionnelles, peu productives, mais très adaptées aux conditions agro-climatiques. C'est ainsi, que des variétés à haut potentiel de rendement introduites ont permis de résoudre les problèmes de déficit vivrier dans les zones d'études lorsqu'elles étaient bien conduites (Temé et al., 1992).

À partir de 1986, le retrait de l'OPAM du processus de commercialisation a entraîné une chute drastique du prix au producteur. Les crédits intrants pour le maïs ont également été supprimés. Ces réformes politiques ont eu une conséquence immédiate de réduction des superficies et une baisse des rendements du maïs, inférieurs à 2 tonnes/ha (Blanchard et al., 2011). Les résultats de notre étude montrent que les rendements du maïs varient beaucoup en fonction de la zone de culture, mais ils peuvent être nettement supérieurs aux niveaux actuellement observés en milieu paysan. Dans la zone Sud, les meilleurs rendements (4 174 kg/ha) sont obtenus avec les parcelles dont les âges de mise en culture continue se situent entre 10 et 20 ans. Par contre, dans la zone Nord (vieux bassin cotonnier), les différences entre les rendements en fonction de l'âge de mise en culture ne sont pas très élevées. Les producteurs ont une plus grande maîtrise des techniques culturales.

En mettant l'accès sur la bonne application des itinéraires techniques (apports de fumures organiques et minérales, semis, sarclages et buttage), sur la bonne rotation (coton/maïs/légumineuse) et sur l'utilisation des variétés performantes, les rendements des cultures peuvent être améliorés de manière substantielle.

Dans les zones d'expérimentation, le sorgho est moins cultivé à cause de sa faible productivité. Actuellement les rendements du sorgho sont inférieurs à 1 tonne par hectare. Dans les expérimentations conduites par Kouyaté et al. (2000), sur des sols pauvres avec exportation des résidus, les rendements ont varié entre 587 kg/ha et 1 148 kg/ha. Quand les résidus sont incorporés, les rendements ont varié entre 572 kg/ha et 1 155 kg/ha. Les rendements obtenus dans nos conditions d'expérimentation sont similaires aux résultats obtenus par Kouyaté. Le programme sorgho de l'Institut d'Économie Rurale a créé des variétés performantes adaptées aux différentes conditions agro-climatiques. Ces variétés répondent à la fertilisation minérale. Mais force est de constater que les niveaux d'adoption sont considérés comme faibles dans plusieurs cas. Les agriculteurs rencontrent des difficultés d'adoption qui sont de plusieurs ordres : manque d'information, insuffisance de formation, difficulté d'approvisionnement, insuffisance des ressources monétaires disponibles (trésorerie), problèmes d'infrastructure (routière, stockage), problèmes de commercialisation et de rentabilisation de la production.

Si l'utilisation des variétés performantes de maïs ne pose pas de problème, par contre, des efforts doivent être faits pour le sorgho. La recherche doit fournir des efforts dans la conception des technologies adoptables par les agriculteurs, dans la prise en compte des réalités physiques et socio-économiques, dans la mise au point de techniques et de paquets techniques dont les coûts d'utilisation sont en rapport avec le pouvoir d'achat des producteurs, dans la participation des agriculteurs eux-mêmes aux phases stratégiques du développement de la technologie.

## 4. Conclusion

Au regard, de la croissance démographique de nos pays, l'intensification des systèmes de production devient incontournable pour vêtir et nourrir une population sans cesse croissante. La majeure partie de la production céréalière au Mali est faite dans la zone cotonnière. Ces céréales bénéficient de l'arrière effet de la fertilisation organo-minérale apportée sur le cotonnier. Les

quantités d'engrais chimiques et de fumure organique utilisées sur les céréales au Mali sont très faibles. Les rendements des céréales restent largement liés à l'arrière effet de la fertilisation du coton dans les zones d'étude. Dans ce contexte, l'amélioration de la productivité des cultures de céréales passe par une bonne gestion des ressources naturelles, une meilleure intégration de l'élevage et de l'agriculture et une bonne gestion des intrants. La mise en œuvre de cette stratégie par les producteurs permettra d'augmenter les productions céréalières, d'assurer la sécurité alimentaire et d'engranger des bénéfices substantiels dans les activités agricoles.

## Bibliographie

- Ancey G., 1983. *Synthèse des évaluations des filières coton, maïs, arachide, riz-mopti au Mali*. Rapport de mission d'évaluation, 32 p.
- Bationo A., Mokwunye A.U., 1991. Role of manures and crop residue in alleviating soil fertility constraints to crop production: with special reference to the Sahelian and Sudanian zones of West Africa. *Fertilizer Research*, **29**, 117-125.
- Berthé A.L. et al., 1991. *État des ressources naturelles et potentialités de développement. Profil d'environnement Mali-Sud*, KIT, Amsterdam, The Netherlands, 79 p.
- Blanchard M., Coulibaly D., Ba A., Sissoko F., Pocard R.C., 2011. Contribution de l'intégration agriculture-élevage à l'intensification écologique des systèmes agrosylvo-pastoraux : Le cas du Mali-Sud. In : Vall E., Andrieu N., Chia E., Nacro H.B. (eds). *Partenariat, modélisation, expérimentation : quelles leçons pour la conception de l'innovation & l'intensification écologique. Actes du séminaire ASAP, novembre 2011, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso*. CDRom.
- Bosma R., Bengaly K., Traoré M., Roeleveld A., 1992. *L'élevage en voie d'intensification. Synthèse de la recherche sur les ruminants dans les exploitations agricoles mixtes au Mali – sud*. KIT, Bamako, **3**, 202 p.
- Direction nationale de l'Agriculture, 2012. *Manuel de production de semences de riz*. Rapport annuel. Bamako.
- Djouara H., Béliers J.F., Kébé D., 2006. Les exploitations agricoles familiales de la zone cotonnière du Mali face à la baisse des prix du coton-graine. *Cahiers Agricultures*, **15**, 64-71.
- Harmand J.M., Ballé P., 2001. La jachère agroforestière (arborée ou arbustive) en Afrique tropicale. In : Floret Ch., Pontanier R. (éds). *La jachère en Afrique tropicale, de la jachère naturelle à la jachère améliorée*. John Libbey Eurotext, Paris, p. 265-292.
- Gigou J., Giraudy F., Doucouré C.O.T., Healy S., Traoré K., Guindo O., 2004. L'âge des champs : un indicateur du passage de la culture itinérante à la culture permanente dans le bassin cotonnier du Mali. *Cahiers Agricultures*, **13**, 467-72.
- Kieft H., Kéita N., Van der Heide A., 1994. *Engrais fertiles ? Vers une fertilité durable des terres agricoles au Mali*. ETC, Leusden, The Netherlands. 99 p.
- Kouressy M. et al., 2003. La dynamique des agroécosystèmes : un facteur explicatif de l'érosion variétale du sorgho. In : Peltier R. (ed.). *Actes du colloque. Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux. Montpellier, France. 25-27 février 2003*. CIRAD, Montpellier, France.
- Kouyaté Z., Franzluebbers K., Juo A.S.R., Hossner L.R., 2000. Tillage, crop residue, legume rotation, and green manure effects on sorghum and millet yields in the semiarid tropics of Mali. *Plant and Soil*, **225**, 141-151.
- Pieri C., 1989. *Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara*. Ministère de la Coopération et CIRAD-IRAT, Paris.
- Roose E., 2007. Restauration de la productivité des sols tropicaux. In : *Actes des JSIR AUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007*.
- Temé B., Sanogo O., Boughton D., 1992. *Reconnaissance rapide sur la filière maïs*. Rapport d'étude. Bamako, 42 p.

- Traoré S.B. et al., 2000. Adaptation à la sécheresse des écotypes locaux de sorghos du Mali. *Sécheresse*, **11**(4), 227-237.
- Van der Pol F., 1992. *Soil mining, an unseen contributor to farm income in southern Mali*. KIT, Amsterdam, Bulletin 325.

## Foraging and pollination behaviour of *Apis mellifera adansonii* Latreille (Hymenoptera, Apidae) on *Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae) flowers at Dang (Naoundere, Cameroon)

Mazi Sanda, E-mail: mazisanda@yahoo.fr, Tchuenguem Fohouo F.N., University of Ngaoundéré, Faculty of Science, Ngaoundéré, Cameroon, E-mail: nt.foho@gmail.com  
Brückner D., Forschungsstelle für Bienenkunde, Universität Bremen, Germany

### Abstract

To evaluate the *Apis mellifera adansonii* Latreille (Hymenoptera: Apidae) impact on fruit and seed yields of *Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae), *A. m. adansonii* workers foraging and pollinating activities were studied in Ngaoundéré. From August to September 2009 and from August to October 2010, the experiments were carried out on 340 flowers each year and divided in three treatments: two treatments differentiated according to the presence or absence of protection regarding *A. m. adansonii* and other insects visits; the third protected and uncovered when flowers were open, to allow *A. m. adansonii* visits. Worker's seasonal rhythm of activity, its foraging behaviour on flowers, its pollination efficiency, the fructification rate, the number of seeds/fruit and the percentage of normal seeds were evaluated. Results show that *A. m. adansonii* foraged *G. hirsutum* flowers throughout the whole blooming period. This bee intensely and preferably harvested pollen. The greatest mean number of individuals foraging simultaneously on 1 000 flowers was 486 in 2009 and 747 in 2010. The mean foraging speed was 9.41 flowers/min in 2009 and 8.41 flowers/min in 2010. The fructification rate, the number of seeds/fruit and the percentage of normal seeds of unprotected flowers were significantly higher than those of flowers protected from insects. Through its pollination efficiency, *A. m. adansonii* provoked a significant increment of the fructification rate by 60.84% in 2009 and 36.48% in 2010, as well as the number of seeds/per fruit by 94.23% in 2009 and 31.41% in 2010, and the percentage of normal seeds by 94.23% in 2009 and 33.49% in 2010. The installation of *A. m. adansonii* colonies close to *G. hirsutum* fields could be recommended to increase fruit, seed and honey yields, and pollen production as a hive product in the region.

### Comportement de butinage et de pollinisation de *Apis mellifera adansonii* Latreille (Hymenoptera, Apidae) sur fleurs de *Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae) à Dang (Ngaoundère, Cameroun)

Pour évaluer l'impact de *Apis mellifera adansonii* Latreille (Hymenoptera: Apidae) sur le rendement fruitier et grainier de *Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae), les activités de butinage et de pollinisation de *A. m. adansonii* ont été étudiées à Ngaoundéré. D'août à septembre 2009 et d'août à octobre 2010, les expériences ont été menées sur 340 fleurs, réparties en trois traitements : deux traitements différenciés par la présence ou l'absence de protection contre les visites de *A. m. adansonii* et des autres insectes ; le troisième protégé puis ouvert dès l'épanouissement des fleurs pour permettre les visites de *A. m. adansonii*. Le rythme saisonnier de visite des butineuses, leur comportement de butinage sur les fleurs, leur efficacité de pollinisation, le taux de fructification, le nombre de graines par fruit et le pourcentage de graines normales ont été évalués. Les résultats montrent que *A. m. adansonii* butine les fleurs de *G. hirsutum* pendant toute la période de floraison. Cette abeille récolte intensément et préférentiellement le pollen. Le plus grand nombre de butineuses simultanément en activité sur 1 000 fleurs était de 486 en 2009 et de 747 en 2010. La vitesse moyenne de butinage était de 9,41 fleurs/min en 2009 et de 8,41 fleurs/min en 2010. Le taux de fructification, le nombre de graines par fruit et le pourcentage de graines normales des fleurs libres (en libre pollinisation) étaient plus significatifs que ceux des fleurs protégées des insectes. Par son efficacité pollinisatrice, *A. m. adansonii* a provoqué une augmentation significative du taux de fructification de 60,84% en 2009 et de 36,48% en 2010 ; le nombre de graines

par fruit de 94,23 % en 2009 et de 31,41 % en 2010, et le pourcentage de graines normales de 94,23 % en 2009 et de 33,49 % en 2010. L'installation des colonies de *A. m. adansonii* proches des champs de *G. hirsutum* devrait être recommandée pour augmenter les rendements en fruits, graines et miel, et la production du pollen comme produit de la ruche dans la région.

## 1. Introduction

Through the literature, very little information exists on the relationships between flowering insects and many plants species in Cameroon. Yet, it is known that anthophilous insects in general and bees in particular usually increase the fruit and seed yields of many plants species, through pollination of flowers during foraging (Keller, Waller, 2002; Sabbahi et al., 2005; Klein et al., 2007; Tchuenguem Fohouo et al., 2009).

The genus *Gossypium* is an annual plant up to 1.5 meter tall (Duke, 1983); two kinds of branches: vegetative and fruiting; leaves alternate, petiolate, palmately with 3-5-lobed, hirsute, blade cordate, as broad as long with 7.5-15 cm (Duke, 1983). Its flowers are yellow, hermaphroditic and it produces nectar and pollen which attract insects. Each flower opens in the morning and remains open until it fades two days later. Cotton fiber is use for textile industries and the seed in the production of oil and soap. Cotton seed and roots have been used in nasal polyps, uterine fibroids and other types of cancer (Hartwell, 1967; 1971; Duke, 1983). Mucilaginous tea of fresh or roasted seeds used for bronchitis, diarrhea, dysentery, and hemorrhage. Leaves steeped in vinegar applied to the forehead for headache. Root decoction used for asthma, diarrhea, and dysentery (Duke, 1983).

In Cameroon, before this research, there has been no previous research reported on the relationships between *Gossypium. hirsutum* and its anthophilous insects in general and *Apis mellifera adansonii* in particular, although the activity and diversity of flowering insects of a plant species vary with regions (Roubik, 2000).

The main objective of this work carried out in Ngaoundéré in 2009 and 2010 was to contribute to the understanding of the relationships between *G. hirsutum* and its flowering insects, for their optimal management. Specific objectives were: (a) the registration of the activity of *A. m. adansonii* on *G. hirsutum* flowers; (b) the evaluation of the apicultural value of this plant; (c) the evaluation of the impact of flowering insects on pollination, on the pod and seeds yields of this Malvaceae, and (c) the estimation of the pollination efficiency of *A. m. adansonii* on *G. hirsutum*.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Study site, experimental plot and biological material

The experiment was carried out twice, first from August to September 2009 and then August to October 2010 at Dang (Latitude 7°25.365 N, Longitude 13°32.572 E and Altitude 1083 masl), a village located in the North of the city of Ngaoundéré, in the Adamawa Region of Cameroon. This region belongs to the high guinean savanna agro-ecological zone, with bimodal rainfall pathern. The climate is of the soudano-guinean type, characterized by two seasons: a rainy season (April to October) and a dry season (November to March). The annual rainfall is about 1 500 mm. The mean annual temperature is 22 °C and the mean annual relative humidity is 70%. The annual insolation duration varies from 2321.1 h to 2557.9 h (Tchuenguem Fohouo, 2005; Tchuenguem Fohouo, 2010). The number of honeybee colonies located in this area varied from 31 in June 2009 to 51 in October 2010. The vegetation was represented by crops, ornamental plants, hedge plants and native plants of the savannah and gallery forests.



The experimental plot was a field of 416 m<sup>2</sup>. Two kenyan top-bar hives inhabited by *Apis mellifera adansonii* Latreille (Hymenoptera: Apidae) was installed close to the experimental plot. The vegetation near *G. hirsutum* field was represented by spontaneous and cultivated species. The plant material was represented by *G. hirsutum* seeds which have been given to us by SODECOTON of Garoua.

### 3. Methods

#### 3.1. Sowing and weeding

Between the 5<sup>th</sup> to 17<sup>th</sup> April 2009 and the 15<sup>th</sup> to 25<sup>th</sup> May 2010, the experimental plot was divided into eight subplots each (8 × 6) m<sup>2</sup>. The sowing was done on six lines per subplot, each line with fifteen holes and in each hole, ten seeds were sown. The space was 50 cm between holes and 70 cm between lines. Weeding was performed manually as necessary to maintain plots weed-free plots.

#### 3.2. Determination of the reproduction system of *Gossypium hirsutum*

In August 06<sup>th</sup> 2009, 240 flowers of *G. hirsutum* with flowers at the bud stage were labelled (15 per subplot) among which 120 were free (treatment 1) and 120 were protected from bees and other insects using gauze bags net (treatment 2).

In August 22<sup>st</sup> 2010, 240 flowers of *G. hirsutum* with flowers at the bud stage were labelled (15 per subplot) among which 120 were free (treatment 3) and 120 were protected from bees and other insects using gauze bags nets (treatment 4).

Each year, ten days after shading of the last flower of labelled flowers, the number of pods was assessed in each treatment. The podding index was then calculated as described by Tchuenguem Fohouo et al. (2001):  $Pi = F2/F1$  where  $F2$  is the number of pods formed and  $F1$  the number of viable flowers initially set.

The allogamy rate ( $Alr$ ) from which derives the autogamy rate ( $Atr$ ) was expressed as the difference in podding indexes between treatment X (unprotected flowers) and treatment Y (protected flowers).

$Alr = [(PiX - PiY) / PiX] \times 100$  where  $PiX$  and  $PiY$  are respectively the podding average indexes of treatment X and treatment Y.

$$Atr = 100 - Alr$$

#### 3.3. Estimation of the frequency of *Apis mellifera adansonii* on *Gossypium hirsutum* flowers

On 16<sup>th</sup> August 2009, 40 *G. hirsutum* plants which had started to bloom were labelled at the experimental field. On these plants, 240 flowers at the bud stage were labelled among which 120 were left un-attended (treatment 1) and 120 bagged (treatment 2) to prevent visitors.

On 20<sup>th</sup> August 2010, 240 flowers of *G. hirsutum* at the bud stage were labelled among which 120 were left unlimited visits (treatment 3) and 120 bagged (treatment 4). The frequency of *A. m. adansonii* on *G. hirsutum* flowers was determined based on observations on the flowers of treatment 1 and treatment 3, every day, from 20<sup>th</sup> of August to 23<sup>rd</sup> of September 2009 and from 24<sup>th</sup> of August to 2<sup>nd</sup> of October 2010, at 6-7h, 8-9h, 10-11h, 12-13h, 14-15h and 16-17h. In a transect walks along all labelled flowers of treatment 1 and treatment 3, the identity of all insects that visited *G. hirsutum* was recorded. Specimens of all insect taxa were caught with insect net and conserved in 70% ethanol for subsequent taxonomy determination. All insects

encountered on flowers were registered and the cumulated results expressed in number of visits to determine the relative frequency of *A. m. adansonii* in the anthophilous entomofauna of *G. hirsutum*.

### 3.4. Study of the activity of *Apis mellifera adansonii* on *Gossypium hirsutum* flowers

In addition to the determination of the floral insects frequency, direct observation of the foraging activity on flowers were made on insect pollinator fauna in the experimental field. The floral products (nectar or pollen) harvested by *A. m. adansonii* during each floral visit were registered based on its foraging behavior. Nectar foragers were seen extending their proboscis to the base of the corolla and the stigma while pollen gatherers scratched the anthers with the mandibles or the legs. During the same time that *A. m. adansonii* encounters on flowers were registered, we noted the type of floral products collected by this bee. This parameter was measured to determine if *A. m. adansonii* is strictly a pollinivore, nectarivore or pollinivore and nectarivore. This could give us an idea of its implication as a cross-pollinator of *G. hirsutum*. In the morning of each sampling day, the number of opened flowers carried by each labeled flowers was counted.

During the same days as for the frequency of visits, the duration of individual flower visits was recorded (using a stopwatch) at least three times: 7-8h, 9-10h, 11-12h, 13-14h, 15-16h and 17-18h.

Moreover, the number of pollinating visits (the bee came into contact with the anthers, stigma and anthers), the abundance of foragers (highest number of individuals foraging simultaneously on a flower or on 1000 flowers – Tchuengue Fohouo et al., 2004) and the foraging speed (number of flower visited by a bee per min – Jacob-Remacle, 1990; Tchuengue Fohouo, 2005) were measured. The disruption of the activity of foragers by competitors or predators and the attractiveness exerted by other plant species on *A. m. adansonii* was assessed.

During each daily period of investigations, a mobile thermo-hygrometer was used to register the temperature and the relative humidity of the station.

### 3.5. Evaluation of the effect of *Apis mellifera adansonii* and other insects on *Gossypium hirsutum* yields

For each year, this evaluation was based on the impact of flowering insect on pollination, the impact of pollination on fructification of *G. hirsutum*, and the comparison of yields (fructification rate, mean number of seed per fruit and percentage of normal seeds) of treatment X (unlimited inflorescences) and treatment Y (bagged inflorescences). The fructification rate due to the influence of foraging insects ( $Fri$ ) was calculated by the formula:  $Fri = \{[(FrX - FrY) / FrX] \times 100\}$  where  $FrX$  and  $FrY$  were the fructification rates in treatment X and treatment Y. The fructification rate of a treatment ( $Fr$ ) is  $Fr = [(F2/F1) \times 100]$  where  $F2$  is the number of fruits formed and  $F1$  the number of viable flowers initially set. At the maturity, fruits were harvested from each treatment and the number of seeds per fruit counted. The mean number of seeds per fruit and the percentage of normal seeds were then calculated for each treatment. The impact of flowering insects on seed yields was evaluated using the same method as mentioned above for fructification rate (Tchuengue Fohouo et al., 2004).

### 3.6. Assessment of the pollination efficiency of *Apis mellifera adansonii* on *Gossypium hirsutum*

Parallel to the constitution of treatments 1 and 2, 100 flowers were isolated (treatment 5) as those of treatment 2. Parallel to the constitution of treatments 3 and 4, 100 flowers were isolated (treatment 6) as those of treatment 4. Treatments 5 and 6 represent the 3<sup>rd</sup> treatment. Between 10 am and 12 am of each observation date, the gauze bag was delicately removed from each flower carrying out new opened flowers and these flowers were observed for up to 20 minutes. The flowers visited by *A. m. adansonii* were marked and the flowers were protected once more.

For each year, the contribution (Fr<sub>x</sub>) of *A. m. adansonii* in the fructification was calculated by the formula:  $Fr_x = \{[(FrZ - FrY)/FrZ] \times 100\}$  where FrZ and FrY were the fructification rate in treatment Z (bagged flowers and flowers visited exclusively by *A. m. adansonii*) and treatment Y (bagged flowers). At the maturity, fruits were harvested from treatment 5 and treatment 6 and the number of seeds per fruit counted. The mean number of seeds per fruit and the percentage of normal seeds were then calculated for each treatment. The impact of *A. m. adansonii* on seed yields was evaluated using the same method as mentioned above for fructification rate (Tchuengem Fohouo et al., 2004).

## 4. Data analysis

Data were analyzed using descriptive statistics, student's *t*-test for the comparison of means of the two samples, correlation coefficient (*r*) for the study of the association between two variables, chi-square (*X*<sup>2</sup>) for the comparison of two percentages and Microsoft Excel.

## 5. Results

### 5.1. Reproduction system of *Gossypium hirsutum*

The podding index of *G. hirsutum* was 0.87 and 0.26 respectively for treatment 1 and treatment 2 in 2009 and 0.94 and 0.31 in 2010. Thus, in 2009 allogamy rate was 68.97% and autogamy rate was 31.03%; whereas in 2010, allogamy rate was 67.02% and autogamy rate was 32.98%. It appears that the variety of *G. hirsutum* used in our experiments has a mixed reproduction regime allogamous-autogamous, with the predominance of the allogamy over autogamy.

### 5.2. Frequency of *Apis mellifera adansonii* in the floral entomofauna of *Gossypium hirsutum*

Amongst the 4089 and 4500 visits of 17 and 23 insects species recorded on *G. hirsutum* flowers, respectively in 2009 and 2010, *A. m. adansonii* was the most represented insect with 1231 visits (30.11%) and 1712 visits (38.04%), in 2009 and 2010 respectively (Table 1). The difference between these two percentages is highly significant (*X*<sup>2</sup> = 2198.74; *df* = 1; *P* < 0.001).

### 5.3. Activity of *Apis mellifera adansonii* on *Gossypium hirsutum* flowers

#### 5.3.1. Floral products harvested

From our field observations, *A. m. adansonii* workers were found to collect nectar and pollen on *G. hirsutum* flowers. Pollen collection was regular and intensive (with 73.93% in 2009 and 54.32% in 2010) whereas Nectar collection was low: for 1231 and 1712 visits

counted on flowers, respectively in 2009 and 2010, 321 (26.07%) and 422 (24.65%) were for nectar collection, 910 (73.93%) and 930 (54.32%) for pollen collection, respectively in 2009 and 2010. In 2010, the two floral products collection were observed 360 visits (21.03%). The products harvested occurred all day long (Table 2).

**Table 1.** Diversity of floral insects on *G. hirsutum* flowers in 2009 and 2010, number and percentage of visits of different insects.

Insects			2009		2010	
Order	Family	Genus, species, sub-species	n <sub>1</sub>	p <sub>1</sub> (%)	n <sub>2</sub>	p <sub>2</sub> (%)
Hymenoptera	Apidae	<i>Apis mellifera adansonii</i>	1,231	30.11	1,712	38.04
		<i>Allodope</i> sp.	420	10.27	202	4.49
		<i>Amegilla</i> sp.1	131	3.2	189	4.2
		<i>Amegilla</i> sp.2	205	5.01	47	1.04
		<i>Tetralonia</i> sp.	311	7.61	115	2.55
	Halictidae	<i>Lasioglossum</i> sp.	548	13.4	698	15.51
		<i>Lipotriches blandula</i>	113	2.76	315	7
		<i>Halictus</i> sp.	168	4.11	61	1.35
		<i>Leuconomia granulate</i>	63	1.54	-	-
	Formicidae	<i>Myrmicaria opaciventris</i>	120	2.93	26	0.58
		<i>Camponotus</i> sp.	346	8.46	188	4.18
		<i>Paratrechina longicornis</i>	139	3.4	199	4.42
		sp.1	-	-	19	0.42
Vespidae	<i>Belanogaster juncea</i>	-	-	2	0.04	
Coleoptera	Coccinellidae	<i>Cheilomenes lunata</i>	25	0.61	258	5.73
	Curculionidae	1sp.	-	-	50	1.11
		sp.1	81	1.98	110	2.44
	Scarabeidae	sp.2	21	0.51	42	0.93
Diptera		sp.1	129	3.15	78	1.73
Hemiptera	Pentatomidae	<i>Nezara viridula</i>	-	-	49	1.09
	Coreidae	<i>Anaplocnemis curvipes</i>	-	-	36	0.8
Lepidoptera	Pieridae	<i>Eurema</i> sp.	-	-	45	1
		<i>Catopsilia florella</i>	-	-	26	0.58
	Nymphalidae	<i>Neptis</i> sp.	26	0.64	33	0.73
		<i>I</i> sp.	12	0.29		
Total			4,089	100.00	4,500	100.00

n<sub>1</sub>: number of visits on 120 flowers in 26 days, n<sub>2</sub>: number of visits on 120 flowers in 23 days, p<sub>1</sub> and p<sub>2</sub>: percentages of visits, p<sub>1</sub> = (n<sub>1</sub> / 4089) × 100, p<sub>2</sub> = (n<sub>2</sub> / 4500) × 100;  
 Comparison of percentages of *G. hirsutum* visits for two years: X<sup>2</sup> = 2198.74; df= 1; p < 0.001.

**Table 2.** Products harvested by *A. m. adansonii* on *G. hirsutum* flowers in 2009 and 2010.

Year	Number of visits studied	Visits for Nectar harvest		Visits for Pollen harvest		Visits for nectar and pollen harvest	
		Number	%	number	%	number	%
2009	1231	321	26.10	910	73.92		
2010	1712	422	24.65	930	54.32	360	21.03

X<sup>2</sup>= 674.99; df=2; P<0.001

### 5.3.2. Rhythm of visits according to the flowering stages

Visits were most numerous on the experiment plot when the number of opened flowers was highest (Table 3). Furthermore, a positive and significant correlation was found between the number of *G. hirsutum* opened flowers and the number of *A. m. adansonii* visits in 2009 ( $r = 2.89$ ;  $df = 24$ ;  $P < 0.001$ ) as well as in 2010 ( $r = 1.32$ ;  $df = 21$ ;  $P < 0.001$ ).

**Table 3.** Seasonal distribution of the number of *G. hirsutum* opened flowers (F) and the number of *A.m. adansonii* visits (V) in 2009 and 2010.

		20.08	21.08	22.08	24.08	25.08	26.08	27.08	28.08	29.08	01.09	02.09	03.09	04.09	04.09
2009	F	5	10	11	12	17	18	16	10	8	145	5	11	14	14
	V	10	51	73	87	120	54	17	123	64	124	2	3	11	11
		24.08	26.08	29.08	30.08	01.09	02.09	03.09	05.09	07.09	09.09	12.09	13.09	14.09	14.09
2010	F	18	29	40	36	31	59	85	63	50	45	65	45	118	118
	V	15	21	25	29	51	65	97	77	63	54	71	35	94	94

**Table 3.** (continue).

		05.09	06.09	08.09	09.09	10.09	14.09	15.09	17.09	18.09	20.09	21.09	22.09	23.09
2009	F	98	124	217	102	97	21	54	32	21	31	7	9	12
	V	34	102	234	31	25	10	24	7	4	10	4	3	4
		15.09	16.09	17.09	19.09	21.09	26.09	27.09	29.09	01.10	02.10			
2010	F	140	101	146	150	98	176	245	105	87	35			
	V	100	85	99	115	85	125	208	102	51	45			

Statistical analysis: For 2009:  $r = 0.63$   $df = 24$ ;  $p < 0.001$  THS,  
for 2010:  $r = 0.94$   $df = 21$ ;  $p < 0.001$  THS.

### 5.3.3. Daily rhythm of visits

*A. m. adansonii* foraged on *G. hirsutum* flowers throughout the whole daily blooming period, with a peak of activity situated between 11 and 12 am in 2009 and 9 and 10 am in 2010 (Table 4). Climatic conditions influenced the activity of *A. m. adansonii* in the field of *G. hirsutum* (Table 4).

**Tableau 4.** Daily distribution of *A.m. adansonii* visits on 120 and 120 *G. hirsutum* flowers over 26 days in 2009 and 23 days 2010 respectively, mean temperature and mean humidity of the study site.

Years	Parameter registered	Daily period (hours)					
		7-8	9-10	11-12	13-14	15-16	16-17
2009	Number of visits	137	262	279	235	195	123
	Percentage of visits (%)	11.13	21.28	22.66	19.1	15.84	9.99
	Temperature (°C)	23.65	25.30	27.66	28.30	26.61	25.31
	Hygrometry (%)	76.92	73.09	65.35	63.46	66.38	69.77
2010	Number of visits	212	745	491	178	86	-
	Percentage of visits (%)	12.38	43.52	28.68	10.40	5.02	-
	Temperature (°C)	22.55	23.85	26.15	28.7	28.85	-
	Hygrometry (%)	82.92	79.32	76.63	73.4	69.67	-

2009: for temperature and hygrometry, each value represents the mean of 26 days of observations. 2010: for temperature and hygrometry, each value represents the mean of 23 days of observations.

In 2009:  $r(V, T) = 0.65$  HS,  $r(V, H) = -0.47$ ;  $df = 10$

In 2010:  $r(V, T) = -0.99$  HS,  $r(V, H) = 0.97$  HS;  $df = 8$

In 2009, the correlation was positive and significant ( $r = 0.65$ ;  $df = 10$ ;  $P < 0.05$ ) between the number of *A. m. adansonii* visits on *G. hirsutum* flowers and the temperature, while it was negative and not significant ( $r = -0.47$ ;  $df = 10$ ;  $P < 0.05$ ) between the number of visits and relative humidity.

In 2010, the correlation was negative and not significant ( $r = -0.51$ ;  $df = 8$ ;  $P < 0.05$ ) between the number of *A. m. adansonii* visits on *G. hirsutum* flowers and the temperature, while it was positive and not significant ( $r = 0.46$ ;  $df = 8$ ;  $P < 0.05$ ) between the number of visits and relative humidity.

#### 5.3.4. Abundance of *Apis mellifera adansonii*

In 2009, the highest mean number of *A. m. adansonii* simultaneous in activity was 2.49 per flower ( $n = 100$ ;  $s = 0.71$ ;  $\max = 4$ ) and 485.34 per 1 000 flowers ( $n = 71$ ;  $s = 247.17$ ;  $\max = 989$ ). In 2010, the corresponding figures were 1 ( $n = 150$ ;  $s = 0$ ) and 142.44 ( $n = 120$ ;  $s = 4.83$ ;  $\max = 275.9$ ). The difference between the mean number of foragers per 1000 flowers in 2009 and 2010 is not significant ( $t = -1.83$ ;  $df = 190$ ;  $P = 0.69$ ).

#### 5.3.5. Duration of visits per flower

The mean duration of *A. m. adansonii* visits per *G. hirsutum* flower varied significantly according to the type of food harvested (for 2009:  $t = -5.03$ ,  $df = 126$ ,  $P < 0.001$ ; for 2010:  $t = -16.76$ ,  $df = 198$ ,  $P < 0.001$ ). In 2009, the mean duration of a visit was 85.24 seconds ( $n = 64$ ;  $s = 2.81$ ), with a maximum of 145 sec for nectar harvest, against 55 sec ( $n = 64$ ;  $s = 3.44$ ), with a maximum of 75 sec for pollen collection. In 2010, the corresponding numbers were 37 sec ( $n = 100$ ;  $s = 1.98$ ) with a maximum of 85 sec for nectar, against 2.17 sec ( $n = 100$ ;  $s = 1.27$ ) with a maximum of 65 sec for pollen harvest. The difference between the duration of the visit to harvest nectar in 2009 and 2010 is significant ( $t = 25.98$ ;  $df = 1$ ;  $P = 0.05$ ) whereas the difference between duration of visit for pollen in 2009 and 2010 is significant ( $t = 26.41$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.05$ ).

#### 5.3.6. Foraging speed of *Apis mellifera adansonii* on *Gossypium hirsutum* flowers

On the experimental plot of *G. hirsutum*, *A. m. adansonii* visited between 1 and 10 flowers/min in 2009 and between 1 and 12 flowers/min in 2010. The mean foraging speed was 9.41 flowers/min ( $n = 111$ ;  $s = 8.18$ ) in 2009 and 8.41 flowers/min ( $n = 120$ ;  $s = 2.64$ ) in 2010. The difference between these two means is not significant ( $t = 0.64$ ;  $df = 120$ ;  $P = 0.001$ ).

#### 5.3.7. Influence of neighboring flora

During the observation period, flowers of many others plants species growing near *G. hirsutum* were visited by *A. m. adansonii*, for nectar (ne) and/or pollen (po). Amongst these plants were *Mimosa pudica* (Fabaceae; po), *Brachiaria brizantha* (Poaceae; po), *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae, ne and po) and *Psidium guajava* (Myrtaceae; po); *Tithonia diversifolia* (ne and po); *Mangifera indica* (ne and po); *Biden spilosa* (ne and po) *Voacanga Africana* (ne). During one foraging trip, an individual bee foraging on *G. hirsutum* flowers was observed moving from *G. hirsutum* flowers to the neighboring plants flowers and vice versa.

#### 5.3.8. Impact of *Apis mellifera adansonii* and others anthophilous insects activity on pollination and on the fruit and seed yields of *Gossypium hirsutum*

During nectar and/or pollen harvest on *G. hirsutum*, foraging insect always shook flowers and regularly contacted anthers and stigma, increasing auto-pollination and/or cross-pollination possibility of *G. hirsutum*.

The comparison of the fructification rate (Table 5) shown that the differences observed are highly significant between treatments 1 and 2 ( $X^2 = 40.19$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.001$ ); lots 4 and 5 ( $X^2 = 82.17$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.001$ ) and treatments 3 and 4 ( $X^2 = 31.57$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.001$ ). The difference between the treatments 1 and 3 was significant ( $X^2 = 15.53$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.001$ ). Consequently:

- In 2009, the fructification rate of unprotected flowers (treatment 1:  $Tfr = 86.66\%$ ) was higher than that for protected flowers (treatment 2:  $Tfr = 48.33\%$ );
- In 2010, the fructification rate of the unprotected flowers (treatment 4:  $Tfr = 94.17\%$ ) was higher than that of protected flowers (treatment 5:  $Tfr = 30.83\%$ ).



**Table 5.** *Gossypium hirsutum* mean yields under different pollination treatments.

Treatments	Years	Flowers	Fruits	Fruiting rate	Seeds/fruit		Total seeds	Normal seeds	% normal seeds
					Mean	Sd			
Ff (unlimited visits)	2009	120	104	86.66	27.16	1.56	2,998	2,825	94.23
Pf (bagged flowers)	2009	120	58	48.33	28.55	1.24	1,656	670	40.46
Ff (unlimited visits)	2010	120	113	94.16	26.25	1.12	2,967	2,831	95.42
Pf (bagged flowers)	2010	120	37	30.83	16.02	0.95	577	301	52.16
Fva ( <i>A. mellifera</i> flowers)	2009	100	64	64.00	22.70	0.64	1,453	446	30.70
Fva ( <i>A. mellifera</i> flowers)	2010	100	56	56.00	27.26	1.90	2,200	1,774	80.63

Ff: free flower, Pf: protected flowers, Fva: flowers visited exclusively by *A. m. adansonii*.

The comparison of the mean number of seeds per pod (table 5) has shown that the difference observed was highly significant between treatments 1 and 2 ( $t = 37.98$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.05$ ) and treatments 1 and 3 ( $t = 41.97$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.001$ ).

Consequently:

- In 2009, the number of seeds per pod of exposed flowers (treatment 1) was higher than that of protected flowers (treatment 2). The mean number of seeds per pod of exposed flowers was higher in 2010 than in 2009.

The comparison of the percentage of normal seeds (Table 5) showed that the observed differences was highly significant between treatments 1 and 2 ( $\chi^2 = 1442.28$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.001$ ). Consequently:

- In 2009, the percentage of normal seeds of exposed flowers (treatment 1: 94.23%) was higher than that of protected flowers (treatment 2: 40.46%).
- In 2010, the percentage of normal seeds of exposed flowers (treatment 3: 95.42%) was higher than that of protected flowers (treatment 4: 52.16%).

The percentage of the fructification rate due to the action of flowering insects were 53.23% in 2009 and 58.42% in 2010. For all of the flowers studied, the percentage of the fructification rate attributed to the influence of insects was 39.09%.

- In 2009, the percentage of the seeds production per fruit due to the action of insects including *A. m. adansonii* was 76.28%.

The percentages of the number of seeds production due to the action of insects were 69.53% in 2009 and 33.17% in 2010. For all of the flowers studied, the percentage of the normal seeds attributed to the influence of insects was 27.35%.

### 5.3.9. Pollination efficiency of *Apis mellifera adansonii* on *Gossypium hirsutum*

During the collection of pollen or nectar on flowers, foragers regularly contacted anthers and carried pollen. With this pollen, the bee flew frequently from flower to flower of the same species. The percentage of the number of visits during which workers bees came into contact with the anthers of the visited flowers varied from 54.52% to 71.43%, to harvest nectar respectively in 2009 and 2010, and from 100% to 100% to harvest pollen respectively in 2009 and 2010. The percentage of the total number of visits during which workers bees came into contact with the anthers and stigma of the visited flowers varied from 47.97% to 77.31% to harvest nectar respectively in 2009 and 2010 and from 100% to 100% to harvest pollen respectively in 2009 and 2010 (Table 6) while the percentage of the total number of visits during which worker bees came into contact with anthers varied from 100% in pollen



harvest to 47.97% in nectar harvest (Table 7). Thus this bee highly increased the pollination possibilities of *G. hirsutum* flowers.

**Table 6.** Number and frequency of contacts between *A. m. adansonii* and the anthers during the floral visits of *Gossypium hirsutum*.

Products harvests	August to September 2009			August to October 2010			Total		
	No. of studied visits	Visits with anthers contacts		No. of studied visits	Visits with anthers contacts		No. of studied visits	Visits without anthers contacts	
		No.	%		No.	%		No.	%
Nectar	321	175	54.52	238	170	71.43	238	68	14.98
Pollen	875	875	100.00	135	135	100.00	-	-	-
Nectar + Pollen	35	26	74.28	81	81	100.00	-	-	-
Total	1,231	1,076	87.41	454	386	85.02			

2009:  $X^2 = 1103.96$ ;  $df = 3$ ;  $P < 0.001$  THS, 2010:  $X^2 = 301.60$ ;  $df = 3$ ;  $P < 0.001$  THS.

**Table 7.** Number and frequency of contacts between *A. m. adansonii* and stigma and anthers during the floral visits of *Gossypium hirsutum*.

Products harvests	August to September 2009			August to October 2010			Total		
	No. of studied visits	Visits with Stigma + anthers contacts		No. of studied visits	Visits with Stigma + anthers contacts		No. of studied visits	Visits without Stigma + anthers contacts	
		No.	%		No.	%		No.	%
Nectar	321	154	47.97	238	184	77.31	-	-	-
Pollen	875	875	100.00	795	795	100.00	-	-	-
Nectar + Pollen	35	29	82.85	679	279	41.09	-	-	-
Total	1,231	1,058	85.94	1,712	1,258	73.48			

2009:  $X^2 = 1481.96$ ;  $df = 3$ ;  $P < 0.001$  THS, 2010:  $X^2 = 4177.03$ ;  $df = 3$ ;  $P < 0.001$  THS

The comparison of the fructification rate (Table 5) showed that the differences observed were highly significant between the treatments 2 and 5 ( $X^2 = 60.13$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.001$ ) and treatments 4 and 6 ( $X^2 = 128.31$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.001$ ). The difference between the treatments 5 and 6 was highly significant ( $X^2 = 90.35$ ;  $df = 1$ ;  $P > 0.05$ ). Consequently:

- In 2009, the fructification rate of flowers protected and visited exclusively by *A. m. adansonii* (treatment 3) was higher than that of flowers protected during their opening period (treatment 2).
- In 2010, the fructification rate of flowers protected and visited exclusively by *A. m. adansonii* (treatment 6) was higher than that of flowers protected during their opening period (treatment 4).

The comparison of the mean number of seeds per fruit (table 5) has shown that the differences observed were highly significant between treatments 2 and 5 ( $t = 74.95$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.001$ ) and treatments 4 and 6 ( $t = 23.03$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.001$ ). The difference between treatments 5 and 6 was significant ( $t = 14.01$ ;  $df = 1$ ;  $P > 0.05$ ). Consequently:

- In 2009, the number of seeds yields per pod of flowers protected and visited exclusively by *A. m. adansonii* (treatment 5) was higher than those protected during their opening period (treatment 2).
- In 2010, the number of seeds yields per pod of flowers protected and visited exclusively by *A. m. adansonii* (treatment 6) was higher than those protected during their opening period (treatment 4).

The comparison of the percentages of normal seeds (table 5) has shown that the differences were highly significant between treatments 2 and 5 ( $X^2 = 5618.00$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.001$ ); between

treatments 4 and 6 ( $X^2 = 530.58$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.001$ ) and between treatments 5 and 6 was ( $X^2 = 196.15$ ;  $df = 1$ ;  $P < 0.001$ ). Consequently:

- In 2009, the percentage of normal seeds of flowers protected and visited exclusively by *A. m. adansonii* (treatment 3) was higher than those protected during their opening period (treatment 2).
- In 2010, the percentage of normal seeds of flowers protected and visited exclusively by *A. m. adansonii* (treatment 6) was higher than that of flowers protected during their opening period (treatment 5).

The percentage of the fructification rate due to *A. m. adansonii* activity was 53.23% in 2009 and 34.54% in 2010. For all the flowers studied, the percentage of fructification rate attributed to the influence of *A. m. adansonii* was 36.48 %.

The percentage of the number of seeds per fruit due to *A. m. adansonii* was 76.28% in 2009 and 24.15% in 2010. For all the flowers studied, the percentage of the number of seeds per pod attributable to the influence of *A. m. adansonii* was 31.41%.

The percentage of the normal seeds due to *A. m. adansonii* was 57.08% in 2009 and 33.49% in 2010. For all the flowers studied, the percentage of the number of seeds per pod attributable to influence of *A. m. adansonii* was 43.4%.

In short, the influence of *A. m. adansonii* on pod and seeds yields was positive and significant. A positive and highly significant correlation was found between the number of pods and the number of *A. m. adansonii* visits on *G. hirsutum* flowers, in 2009 ( $r = 0.63$ ;  $df = 24$ ;  $P < 0.001$ ) as well as in 2010 ( $r = 0.94$ ;  $df = 21$ ;  $P < 0.001$ ).

## 6. Discussion

### 6.1. Activity of *Apis mellifera adansonii* on *Gossypium hirsutum* flowers

Results obtained from these studies indicated that *A. m. adansonii* was the main floral insect visitor frequent on *G. hirsutum* flowers during the observation periods. The same result was found in other parts of the world such as southern Pantanal, in southwestern Brazil (Paulino-Neto, 2007); in Ivinhema, Brazil (Almeida-Soares et al., 2010); in Pietermaritzburg, KwaZulu-Natal, South Africa (Vaughton et al., 2010); and in Ngaoundéré, Cameroon (Tchuenguem Fohouo et al., 2010; Djonwangwe et al., 2011) where *Apis mellifera* were reported as being the most frequent insects on the flowers of *Couepia uiti* (Mart. and Zucc.) Benth (Chrysobalanaceae); *Adenocalymma bracteatum* (Bignoniaceae), *Cyrtanthus breviflorus* (Amaryllidaceae), *Daniellia oliveri*, *Delonix regia*, *Hymenocardia acida* and *Terminalia mantal* and on *Ximenia americana* (Olacaceae).

The significant difference between the percentages of *A. m. adansonii* visit for the two years of study could be explained by the presence of the nest of this bee near the experimental plot.

The peak of activity of *A. m. adansonii* has been observed on *G. hirsutum* flowers in the morning. This peak could be linked to the period of highest availability of nectar and/or pollen on this Fabaceae.

The high abundance of *A. m. adansonii* foragers on 1 000 flowers and the positive and significant correlation between the number of *G. hirsutum* flowers bloom and number of *A. m. adansonii* visits, underscore the attractiveness of *G. hirsutum* nectar and/or pollen with respect to this bee. The attractiveness for *G. hirsutum* nectar and pollen could be partially explained by its high production and the accessibility of these products.

The significant difference observed between the duration of pollen harvest visits and that of nectar collection visits could be explained by the accessibility of each of these floral

products. Pollen is produced by the anthers, which are situated on the top of the stamen and are thus easily accessible to *A. m. adansonii* whereas nectar is between the base of style and stamens and is thus less accessible (Tchuenguem Fohouo, 2005). The weight of *A. m. adansonii* played a positive role: when collecting nectar and/or pollen, *A. m. adansonii* shakes flowers. This movement could facilitate the liberation of pollen by anthers, for the optimal occupation of the stigma. This phenomenon was also reported by Pando et al. (2011) for *Xylocopa calens* on *Phaseolus coccineus* flowers at Yaoundé (Cameroon).

## 6.2. Impact of *Apis mellifera adansonii* activity on the pollination and yields of *Gossypium hirsutum*

During the collection of nectar and/or pollen on each flower, *A. m. adansonii* workers regularly come into contact with the stigma and anthers; the same results were found in southwestern Brazil on *Couepia uiti* flowers (Paulino-Neto, 2007) in Ngaoundéré, Cameroon on *Anona senegalensis*, *Croton macrostachyus*, *Psorospermum febrifugum* and *Syzygium guineense* var. *guineense* flowers (Tchuenguem Fohouo et al., 2008) in South Africa on *Cyrtanthus breviflorus* flowers (Vaughton et al., 2010), in Ngaoundéré-Cameroon on *Ximenia Americana* flowers (Djonwangwe et al., 2011) and in Yaoundé-Cameroon on *Phaseolus coccineus* flowers (Pando et al., 2011). It could enhance auto-pollination by applying pollen of one flower on its own stigma. This is as well probable as autogamy has been demonstrated in *A. bracteatum* (Almeida-Soares et al., 2010). *A. m. adansonii* would provide allogamous pollination through carrying of pollen within their furs, silks, legs, mouth accessories, thorax and abdomen, which is consequently deposited on another flower belonging to a different plant of same species. This has also been observed by others studies (Paulino-Neto, 2007; Djonwangwe et al., 2011 ; Pando et al., 2011).

The intervention of *A. m. adansonii* in the pollination of *G. hirsutum* is seemingly more real than its density per 1 000 flowers and its foraging visits are high. Moreover, its daily period of intense activity which is situated in the morning hours can be explained by the optimal receptive period of the stigma of *G. hirsutum*. The same observation was done in Brazil on *Adenocalymma bracteatum* flowers (Almeida-Soares et al., 2010).

The positive and significant contribution of *A. m. adansonii* in the pod and seeds yields of *G. hirsutum* is justified by the action of this bee on pollination. Our results agreed with those obtained in Great Britain (Kendall, Smith, 1976) and United State of America (Ibarra-Perez et al., 1999) which showed that *P. coccineus* flowers produce less seeds per pod in the absence of insect pollinators.

The numeric contribution of *A. m. adansonii* to the yields of *G. hirsutum* through its pollination efficiency was significantly higher than that of all insects on the exposed flowers. This shows on one hand that *A. m. adansonii* is one of the principal insect pollinators of *G. hirsutum* and on the other hand that many insect that visit *G. hirsutum* flowers benefits from this Fabaceae, but did not have any influence on pollination and yields of the plant species. This result confirmed other findings reported by Mahadevan and Chandy (1959) shown that in India, insects pollinators visits on *G. hirsutum* ameliorate the yield of cotton especially *A. m. adansonii*. The weight of *A. m. adansonii* played a positive role: when collecting nectar and/or pollen, *A. m. adansonii* shaken flowers; this movement could facilitate the liberation of pollen by anthers, for the optimal occupation of the stigma.

## 7. Conclusion

In Dang (Ngaoundéré, Cameroun), *G. hirsutum* is a plant species that benefits highly from pollination by insects, among which *A. m. adansonii* is the most important pollinator and harvest nectar and/or pollen. The comparison of fruits and seeds set of unprotected flowers with those visited exclusively by *A. m. adansonii* underscores the value of this bee in increasing fruit and seed yields as well as seed quality. As a very highly polliniferous and highly nectariferous apicultural plant, *G. hirsutum* could be cultivated and protected to increase honey production and to strengthen *A. m. adansonii* colonies.

The installation and/or the kept of *A. m. adansonii* nest at the proximity of *G. hirsutum* plots should be recommended for Cameroonian farmer and horticulturists to increase fruits and seeds yields.

*G. hirsutum* should be cultivated more in Cameroon to contribute to the economy of the country and to favor populations of *A. m. adansonii*.

Furthermore, insecticide treatments should be avoided during the flowering period of *G. hirsutum*. If these treatments are necessary, the choice of the insecticides that are less toxic for bees or the integrated pest control should be recommended to protect pollinating insects such as *A. m. adansonii*.

## Acknowledgements

The authors wish to thank the University of Ngaoundéré for providing research plot, SODECOTON for seeds and Prof. Mapongmetsem (University of Ngaoundéré, Laboratory de Botany) for the identification of plant species.

## Bibliography

- Almeida-Soares S., Polatto L.P., Dutra J.C.S., Torezan-Silingardi H.M., 2010. Pollination of *Adenocalymma bracteatum* (Bignoniaceae): Floral Biology and Visitors. *Neotropical Entomology*, **39**(6), 941-948.
- Djonwangwe D., Tchuengue Fohouo F.N., Messi J., Brückner D., 2011. Foraging and pollination activities of *Apis mellifera adansonii* Latreille (Hymenoptera: Apidae) on *Ximenia americana* (Oleaceae) flowers at Ngaoundéré (Cameroun). *Journal of Animal and Plant Sciences*, **10**(3), 1325-1333.
- Ibarra-Perez F.J., Barnhart D., Ehdaie B., Knio K.M., Waines J.G., 1999. Effects of insect tripping on seed yield of common beans. *Crop Science*, **39**, 428-433.
- Jacob-Remacle A., 1990. *Abeilles sauvages et pollinisation*. Unité de Zoologie Générale et Appliquée, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 40 p.
- Keller L.F., Waller D.M., 2002. Inbreeding effects in wild populations. *Trends in Ecology and Evolution*, **17**, 230-241.
- Kendal D.A., Smith B.D., 1976. The pollinating efficiency of honey bee and Bumblebee visits to flowers of runner bean *Phaseolus coccineus*. *Journal of Applied Ecology*, **13**(3), 749-752.
- Klein A.M., Vaissière B.E., Cane J.H., Steffan-Dewenter I., Cunningham S.A., Kremen C., Tscharntke T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society of London*, **274**, 303-313.
- Mahadevan V., Chandy K.C., 1959. Preliminary studies on the increase in cotton yield due to honeybee pollination. *Madras Agricultural Journal*, **47**, 23-26.
- Pando J.B., Tchuengue Fohouo F.N., Tamesse J.L., 2011. Foraging and pollination behaviour of *Xylocopa calens* Lepeletier (Hymenoptera: Apidae) on *Phaseolus coccineus* L. (Fabaceae) flowers at Yaoundé (Cameroon). *Entomological Research*, **41**, 185-193.

- Paulino-Neto H.F., 2007. Pollination and breeding system of *Couepia uiti* (Mart. and Zucc.) Benth (Chrysobalanaceae) in the Pantanal da Nhecolândia. *Brazilian Journal of Biology*, **67**(4), 715-719.
- Roubik D.W., 2000. Pollination system stability in Tropical America. *Conservative Biology*, **14**, 1235-1236.
- Sabbahi R., De Oliveira D., Marceau J., 2005. Influence of honey bee (Hymenoptera: Apidae) density on the production of canola (Crucifera: Brassicaceae). *Journal of Economic Entomology*, **98**(2), 367-372.
- Tchuenguem Fohouo F.N., Messi J., Brückner D., Bouba B., Mbofung G., Hentchoya Hemo J., 2004. Foraging and pollination behaviour of the African honey bee (*Apis mellifera adansonii*) on *Callistemon rigidus* flowers at Ngaoundéré (Cameroon). *Journal of Cameroon Academic Sciences*, **4**(2), 133-140.
- Tchuenguem Fohouo F.N., 2005. Activité de butinage et de pollinisation d'*Apis mellifera adansonii* Latreille (Hymenoptera : Apidae, Apinae) sur les fleurs de trois plantes à Ngaoundéré (Cameroun) : *Callistemon rigidus* (Myrtaceae), *Syzygium guineense* var. *macrocarpum* (Myrtaceae) et *Voacanga africana* (Apocynaceae). Thèse de Doctorat d'État, Université de Yaoundé I, 103 p.
- Tchuenguem Fohouo F.N., Djongwangwe D., Brückner D., 2008. Foraging behavior of the African Honey Bee (*Apis mellifera adansonii*) on *Annona senegalensis*, *Croton macrostachyus*, *Psorospermum febrifugum* and *Syzygium guineense* var. *guineense* flowers at Ngaoundéré (Cameroon). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, **11**(5), 719-725.
- Tchuenguem Fohouo F.N., Djonwangwé D., Messi J., Brückner D., 2009. Activité de butinage et de pollinisation de *Apis mellifera adansonii* Latreille (Hymenoptera : Apidae) sur les fleurs de *Helianthus annuus* (Asteraceae) à Ngaoundéré (Cameroun). *Cameroon Journal of Experimental Biology*, **5**(1), 1-9.
- Tchuenguem Fohouo F.N., Fameni Tope S., Mbianda A.P., Messi J., Brückner D., 2010. Foraging behavior of *Apis mellifera adansonii* Latreille (Hymenoptera: Apidea) on *Daniellia oliveri*, *Delonix regia*, *Hymenocardia acida* and *Terminalia mantaly* flowers in Ngaoundéré (Cameroon). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **4**(4), 1180-1190.
- Vaughton G., Ramsey M., Johnson S.D., 2010. Pollinator and late-acting self-incompatibility in *Cyrtanthus breviflorus* (Amaryllidaceae): implications for seed production. *Annals of Botany*, **106**, 547-555.

## Toxicité pour les abeilles *Apis mellifera adansonii* de quelques insecticides utilisés en culture cotonnière au Bénin

Zocancounon A.D., Tchibozo H.J.H., Sokenou F., Yéyi C., Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Parakou, République du Bénin, E-mail : agrobiobenin@hotmail.com, Paraíso A.A., Université de Parakou, E-mail : arparaiso@yahoo.fr

### Résumé

La protection et la préservation des abeilles constituent le gage d'une agriculture durable. La contribution économique de ces insectes à l'agriculture mondiale est estimée à plusieurs milliards de dollars. Le choix non judicieux des produits phytosanitaires, de même que les mauvaises pratiques en protection des végétaux représentent un réel danger pour les abeilles. L'objectif de cette étude était d'évaluer la toxicité pour les abeilles *Apis mellifera adansonii*, de quelques insecticides utilisés dans la production du coton au Bénin. Dans ce cadre, les matières actives et différentes doses testées étaient les suivantes : l'emamectine benzoate, la betacyfluthrine + imidaclopride et le lamdex + chlorpyrifos, aux doses variant de 2 150 ng/ab ; 125 ng/ab ; 75 ng/ab ; 50 ng/ab ; 25 ng/ab ; 12,5 10<sup>3</sup>ng/ab ; 6 ng/ab ; 2,5 ng/ab ; 1,25 ng/ab à 0,96 ng/ab, selon les matières actives. Chaque traitement était constitué de trois répétitions comprenant 25 abeilles. Les abeilles avant le traitement ont été anesthésiées avec de l'éther. Les observations ont été faites 2 heures, 10 heures, 24 heures et 48 heures après l'application de l'insecticide. Les résultats ont montré que, même les plus faibles doses 0,96 ng/ab ; 7,25 ng/ab et 21,5 ng/ab des insecticides utilisés ont montré des taux de mortalité supérieurs à 90 %, 48 heures après l'application. Les résultats de cette étude indiquent qu'il est urgent de promouvoir les bonnes pratiques agricoles en protection phytosanitaire dans le cadre d'une agriculture durable, pour une préservation et une conservation des abeilles.

### Toxicity for the bees *Apis mellifera adansonii* of some insecticides commonly used in cotton protection in Benin

Protection and preservation of the bees are a pledge in a sustainable and environment-friendly agriculture. The economic contribution of the insect's pollinators specially, the bees to world agriculture is estimated at billions of dollars. However, non-judicious choice of pesticides and the absence of good plant protection practices, represent a real danger to bees. The objective of this study was to assess the toxicity of three insecticides commonly used in cotton protection on bees *Apis mellifera adansonii* in Benin. In this context, bees were taken from the hives and transported to the laboratory. Active ingredients and different doses used, were as followed: emamectin benzoate, betacyfluthrine + imidacloprid, and lamdex + chlorpyrifos, at the doses of: 2,150 nanograms/bee; 125 nanograms/bee; 75 ng/b; 50 ng/b; 25 ng/b; 12.5 10<sup>3</sup>ng/b; 6 ng/b; 2.5 ng/b; 1.25 ng/b à 0.96 ng/b, depending on the active ingredient. Each treatment included three repetitions consisting of 25 bees. Bees were anaesthetized with ether before treatment. Each bee received by topical application on the pronotum, one microliter (0.1 µl) of the tested formulation. Observations were made after 2 hours, 10 hours, 24 hours and 48 hours. The results showed that, even the lowest doses of the insecticides: 0.96 ng/b; 7.25 ng/b and 21.5 ng/b showed mortality higher than 90% to bees, 48 hours after the application. The results of the study indicated the urgent need of good plant protection practices in the frame of sustainable agriculture and bees' preservation and conservation.

## 1. Introduction

La contribution économique des abeilles à l'agriculture mondiale est estimée à 117 milliards de dollars US. L'impact de ces pollinisateurs est considérable : au niveau mondial, il représente environ 10% du chiffre d'affaires de l'ensemble de l'agriculture (Adam, 1985 ; Costanza et al.,



1997). Aux États-Unis, pour 90 plantes alimentaires pollinisées par les butineuses, la contribution des abeilles (pollinisation, fécondation, formation graines, récolte et vente) au PIB américain a été estimée à 15 milliards de dollars pour l'année 2000. En France, l'augmentation des productions agricoles attribuée à la pollinisation par les abeilles a été estimée à 3 milliards de francs en 1982. Le cotonnier est une plante dont la pollinisation, bien qu'en grande majorité autogame, est très dépendante des abeilles et autres pollinisateurs (Tassei, 1996). La pollinisation effectuée par les abeilles concerne également les arbres fruitiers. Le pollen des arbres fruitiers est relativement gros et ne peut se déplacer uniquement par le vent. Le transport de pollen des arbres fruitiers est donc en grande partie principalement assuré par les abeilles (Agromisa, 1994; Darrouzet, 2006; AFSSA, 2008). La pollinisation des arbres fruitiers est assurée à plus de 80 % par les abeilles et son succès dépend du nombre d'abeilles présentes dans le verger et des conditions climatiques durant la floraison (Pouvreau, 1984; Agromisa, 1994; Costanza, 1997).

En 2007, aux États-Unis, faute de pollinisation, la culture cotonnière a enregistré des pertes estimées à environ 15 milliards de dollars (Sacase, 2008). Une étude de Vaissière (2005) a mis en relief le rôle prépondérant des abeilles dans la pollinisation du cotonnier. En effet, le pollen du coton est lourd et ne peut être transporté par le vent, et les fleurs du cotonnier restent ouvertes une seule journée (Vaissière, 2005).

La production du coton a connu une croissance au Bénin, atteignant 400.000 tonnes de coton-graines en 2001/02 et en 2003/04, avec un taux de croissance de 2,5 % (Ton, Wankpo, 2004). Cependant, le cotonnier est très fragile, et est sensible à divers ravageurs et maladies (Katary, 2003). Au cours de la seule campagne 2008-2009, pour produire 210 000 tonnes de coton, plus de 1 000 000 litres de pesticides chimiques ont été utilisés (CSPR, 2010).

Au Bénin, l'économie est basée sur l'agriculture (PPAB, 2004). La production agricole représente 40 % de son PIB et occupe 70 % de la population totale active (SCRIP, 2007). Pour subvenir à leurs besoins les agriculteurs associent plusieurs activités dont l'apiculture.

Bien que disposant d'énormes potentialités de par une biodiversité floristique unique (Mensah et al., 2004), l'apiculture y est encore très peu développée et la chasse au miel représente plus de 70 % de la production totale (Paraïso et al., 2011a; 2011b). De plus, depuis quelques années, des phénomènes d'affaiblissement de ruchers avec une diminution de l'activité des abeilles, une disparition subite des colonies et/ou une mortalité massive des abeilles, entraînant des pertes de rendements en graines et une réduction de la miellée ont été observés (Faucon et Colin, 1983; AFSSA, 2008; Viniwanou, 2010; Paraïso et al., 2011a; 2012a; 2012b; 2012c). Ces phénomènes sont à la base de pertes énormes de la production agricole. L'absence de pollinisateurs peut diminuer le rendement jusqu'au quart de la production (Rafalimanana, 2003). Parmi les multiples raisons évoquées, responsables de la disparition des abeilles, la principale est l'exposition des abeilles à différents types d'insecticides chimiques utilisés dans la protection des cultures...

Au Bénin, les pratiques en matière d'utilisation de pesticides sont des plus dangereuses. Les doses de pesticides appliquées par traitement sont en général supérieures à celles recommandées, quelle que soit la zone ou quel que soit le pesticide (Assogba-Komlan, 2007; Agbohessi et al., 2011; Paraïso et al., 2013). Face à toutes ces mauvaises pratiques agricoles, quelles peuvent être les conséquences de telles pratiques sur les abeilles? La présente étude vise à évaluer la toxicité aux abeilles de trois insecticides utilisés en production cotonnière au Bénin.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Milieu d'étude

Les abeilles ont été prélevées dans un rucher situé à Gannou dans la Commune de Parakou située dans le département du Borgou. Le Borgou a une superficie de 25 856 km<sup>2</sup>, une population de 724 171 habitants en 2002 et une densité de 28 habitants au km<sup>2</sup>. Il comprend 8



communes : Bembèrèkè, N'Dali, Nikki, Kalalè, Parakou, Pèrèrè, Sinendé, Tchaourou. Parakou est le chef-lieu du département.

La ville de Parakou est située entre 9°21 latitude Nord et 2°36 longitude Est et s'étend sur 441 km<sup>2</sup> (INSAE, 2003). La Commune de Parakou est caractérisée par un climat tropical humide de type soudanien avec une grande saison pluvieuse et une grande saison sèche. La saison des pluies commence en avril et dure environ 6 à 7 mois. La saison sèche, quant à elle dure environ 5 à 6 mois. La température moyenne annuelle enregistrée oscille autour de 27,6 °C avec un maximum de 30,7 °C en mars et un minimum de 25,1 °C en août. L'humidité relative varie tout au long de l'année entre 26,5 % (décembre) et 82 % (août). La pluviométrie annuelle varie entre 900 et 1 200 mm par an (ASECNA/Station de Parakou-Aéroport).

## 2.2. Matériel

Les travaux ont été effectués pendant les mois de septembre 2011 à février 2012. Les travaux de laboratoire ont été effectués dans le Laboratoire de Protection des Végétaux, de Pathologie et de Parasitologie des Abeilles à Parakou.

Les insecticides testés étaient les suivants : EMA 19,2 EC contenant 19,2 g/l d'emamectine benzoate ; thunder 145 O-TEQ contenant 45g/l de betacyfluthrine et 100g/l d'imidaclopride et le binaire insecticide lamdex 30 + chlorpyrifox 400.

Pour chacun de ces insecticides, des formulations de 5 000 ppm ; 3 000 ppm ; 2 000 ppm ; 1 000 ppm ; 500 ppm ; 250 ppm ; 100 ppm et 50 ppm ont été préparées et correspondent aux doses suivantes par abeille dans 1 microlitre :

- 96,0 ng/μl/ab ; 57,6 ng/μl/ab ; 38,4 ng/μl/ab ; 19,6 ng/μl/ab ; 9,6 ng/μl/ab ; 4,8 ng/μl/ab ; 1,92 ng/μl/ab et 0,96 ng/μl/ab, pour l'EMA 19,2 EC ;
- 725 ng/μl/ab ; 435 ng/μl/ab ; 290 ng/μl/ab ; 145 ng/μl/ab ; 72,5 ng/μl/ab ; 36,25 ng/μl/ab ; 14,5 ng/μl/ab ; 7,25 ng/μl/ab pour thunder 145 O-TEQ ;
- 2150 ng/μl/ab ; 1290 ng/μl/ab ; 860 ng/μl/ab ; 430 ng/μl/ab ; 215 ng/μl/ab ; 107,5 ng/μl/ab ; 43 ng/μl/ab et 21,5 ng/μl/ab pour l'insecticide contenant du lamdex 30 + chlorpyrifox 400 ;
- témoin, dont les abeilles ont été inoculées avec de l'eau sans pesticide.

Chaque traitement était constitué de trois répétitions. Les abeilles ont été prélevées deux heures avant le test et laissées dans une glacière contenant de la glace, à une température de 25 °C, dans l'obscurité. L'inoculation des différents traitements a été effectuée en appliquant 1 microlitre de chaque dose des différents traitements sur le pronotum de l'abeille après avoir anesthésié les insectes. Les abeilles du traitement témoin ont été inoculées avec 1 microlitre d'eau stérilisée. Toutes les abeilles ont été ensuite placées dans des boîtes en polystyrène, perforées, recouvertes par du grillage à petites mailles.

## 2.3. Analyse statistique des données

Pour déterminer les différences entre les moyennes des traitements, l'analyse de variance a été effectuée après transformation des données brutes (pourcentage de la mortalité des abeilles), par la fonction (arsin(x)), avant les analyses sur ANOVA. L'analyse de variance ANOVA a été faite à l'aide du logiciel SPSS version 9.0 sur ces mêmes données pour la comparaison des traitements entre eux. En cas de différences significatives, le test de Student Newman-Keuls (SNK) a été utilisé pour séparer les moyennes des différents traitements. Tous ces paramètres ont été analysés au seuil de signification de 5%. Les corrections relatives à la mortalité des témoins ont été effectuées selon Abbott (Finney, 1971).

Pour le calcul des doses létales, les données obtenues sont traitées par le logiciel WinDL (CIRAD, Montpellier, version 1998), qui permet de modéliser l'effet de concentrations croissantes d'une molécule d'insecticide sur le taux de mortalité de lots d'insectes (relation

dose-effet). Le logiciel WinDL calcule un ajustement des résultats à une droite, après la transformation logarithmique des concentrations et probit des fréquences cumulées de mortalité (droite de Henry).

### 3. Résultats

#### 3.1. Évaluation de la toxicité d'emamectine

##### 3.1.1. Sensibilité aux différentes doses d'emamectine

Les taux de mortalité causés par les différentes doses d'emamectine, 2 heures après le test ont varié de  $10,7 \pm 2,7\%$  ( $0,96 \text{ ng/ab}$ ) à  $100 \pm 0,0\%$  ( $96 \text{ ng/ab}$ ) après 2 heures d'exposition des abeilles à l'insecticide.

**Tableau 1.** Effet des doses croissantes de matières actives de l'insecticide emamectine sur la mortalité des abeilles.

Traitements	Dose par abeille (ng/ab/µl)	Mortalité (%)			
		2 heures	10 heures	24 heures	48 heures
Témoin	Néant	$0,0 \pm 0,0 \text{ b}$	$4,0 \pm 0,0 \text{ d}$	$5,3 \pm 1,3 \text{ d}$	$9,3 \pm 1,3 \text{ d}$
50 ppm	0,96	$10,7 \pm 2,7 \text{ a}$	$36,0 \pm 0,0 \text{ ab}$	$74,7 \pm 1,3 \text{ ab}$	$90,7 \pm 1,3 \text{ bc}$
100 ppm	1,92	$14,7 \pm 2,7 \text{ a}$	$48,0 \pm 8,3 \text{ ab}$	$78,7 \pm 4,8 \text{ bc}$	$93,3 \pm 2,7 \text{ ab}$
250 ppm	4,8	$12,0 \pm 0,0 \text{ a}$	$52,0 \pm 16,2 \text{ ab}$	$72,0 \pm 4,6 \text{ c}$	$88,0 \pm 6,1 \text{ c}$
500 ppm	9,6	$21,3 \pm 1,3 \text{ a}$	$70,7 \pm 6,7 \text{ b}$	$90,7 \pm 2,7 \text{ c}$	$100,0 \pm 0,0 \text{ a}$
1 000 ppm	19,6	$17,3 \pm 11,4 \text{ a}$	$74,7 \pm 9,6 \text{ ab}$	$89,3 \pm 2,7 \text{ ab}$	$97,7 \pm 1,3 \text{ ab}$
2 000 ppm	38,4	$16,0 \pm 2,3 \text{ a}$	$78,7 \pm 5,8 \text{ a}$	$90,7 \pm 1,3 \text{ ab}$	$100,0 \pm 0,0 \text{ a}$
3 000 ppm	57,6	$13,3 \pm 3,5 \text{ a}$	$64,0 \pm 9,2 \text{ a}$	$94,7 \pm 3,5 \text{ a}$	$98,7 \pm 1,3 \text{ ab}$
5 000 ppm	96,0	$14,7 \pm 5,8 \text{ a}$	$68,0 \pm 4,6 \text{ b}$	$98,7 \pm 1,3 \text{ a}$	$100,0 \pm 0,0 \text{ a}$
$F_{8,18}$		4,21	9,71	60,56	85,17
P		0,0054	<,0001	<,0001	<,0001

NB : Il n'existe pas de différence significative entre les moyennes portant une même lettre sur les colonnes.

La plus forte dose  $96 \text{ ng/ab}$  a montré une mortalité plus élevée que toutes les autres doses 24 heures après l'inoculation avec près de 100 % de mortalité des abeilles. Tous les traitements ont indiqué une mortalité supérieure à 85 %, 48 heures après l'application des différentes doses de l'insecticide emamectine.

Aucune différence significative n'a été observée entre les différentes doses d'insecticides utilisées pour cette période. Vingt-quatre heures après, la plus forte dose utilisée ( $96 \text{ ng/ab}$ ) a occasionné le plus haut niveau de mortalité chez les abeilles ( $98,7 \pm 1,3$ ), suivi par ordre décroissant des autres doses, ( $F = 60,56$ ;  $p < 0001$ ). Pour chacune des doses utilisées, les taux de mortalité ont augmenté avec le temps d'exposition des abeilles. Quel que soit le temps d'exposition, les témoins ont enregistré des taux de mortalité inférieurs à ceux des traités, et ces taux ont été inférieurs à 10 %.

##### 3.1.2. Évaluation des doses létales à 50 % et 90 % de l'insecticide à base d'emamectine

Les valeurs des DL 50 et DL 90 (Tableau 2) ont été obtenues à partir de l'analyse de l'effet de doses croissantes des matières actives sur le taux de mortalité de lots d'abeilles. Les résultats ont montré qu'il faut  $3,49 \times 10^{34} \pm 1,11 \times 10^3 \text{ g/L}$  pour tuer 90 % des abeilles en 2 heures ;  $2,41 \times 10^{14} \pm 2,01 \times 10^2 \text{ g/L}$  pour tuer 50 % des abeilles en 2 heures et  $1,66 \times 10^{-6} \pm 7,1 \times 10^2 \text{ g/L}$  pour tuer 10 % des abeilles en 2 heures.

Les limites inférieures et supérieures de chaque DL ont été mentionnées et ont varié de  $1 \times 10^{-38}$  à  $1 \times 10^{38} \text{ g/L}$  pour toutes les valeurs des doses létales (Tableau 2).

**Tableau 2.** Doses létales d'emamectine et leurs limites inférieures et supérieures 2 h, 24 h et 48 h après le test de toxicité.

Doses létales	Doses létales à 50 % (g/l)	Limite inférieure (g/l)	Limite supérieure (g/l)
DL90 (2h)	$3,49 \times 10^{34} \pm 1,11 \times 10^3$	$1 \times 10^{-38}$	$1 \times 10^{38}$
DL50 (2h)	$2,41 \times 10^{14} \pm 2,01 \times 10^2$	$1 \times 10^{-38}$	$1 \times 10^{38}$
DL10 (2h)	$1,66 \times 10^{-6} \pm 7,1 \times 10^2$	$1 \times 10^{-38}$	$1 \times 10^{38}$
DL90 (24h)	$2,05 \times 10^{-2} \pm 1,83 \times 10^{-1}$	$9,26 \times 10^{-3}$	$5,47 \times 10^{-2}$
DL50 (24h)	$1,34 \times 10^{-4} \pm 3,82 \times 10^{-1}$	$1,04 \times 10^{-5}$	$5,07 \times 10^{-4}$
DL10 (24h)	$8,7 \times 10^{-7} \pm 7,5 \times 10^{-1}$	$5,06 \times 10^{-9}$	$1,1 \times 10^{-5}$
DL90 (48h)	$1,46 \times 10^{-3} \pm 3,53 \times 10^{-1}$	$2,82 \times 10^{-19}$	$7,94 \times 10^{-3}$
DL50 (48h)	$1,64 \times 10^{-5} \pm 1,01 \times 10^0$	$1 \times 10^{-38}$	$3,4 \times 10^{-4}$
DL10 (48h)	$1,84 \times 10^{-7} \pm 1,77 \times 10^0$	$1 \times 10^{-38}$	$3,13 \times 10^{-5}$

Le coefficient de corrélation 0,678 obtenu après la régression entre le taux de mortalité et la dose appliquée, a montré que la proportion d'individus morts a un rapport étroit avec la dose appliquée, ( $\chi^2 = 3,991$ ; ddl = 6;  $p = 0,678$ ).

Les résultats ont par contre indiqué, qu'il y a un meilleur ajustement au modèle de régression, et ont montré la fiabilité de la DL50. Ce qui a indiqué, qu'il y a un effet dose réponse. En d'autres termes, la mortalité augmente avec l'augmentation de la dose. Il y a donc un bon ajustement du modèle. Les mêmes résultats ont été obtenus 24 heures après le test.

À 48 h après le début, les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 2.

Ces données ont indiqué qu'il faut  $1,46 \times 10^{-3} \pm 3,53 \times 10^{-1}$  g/L pour tuer 90 % des abeilles en 48 heures,  $1,64 \times 10^{-5} \pm 1,01 \times 10^0$  g/l pour tuer 50 % des abeilles en 48 heures et  $1,84 \times 10^{-7} \pm 1,77 \times 10^0$  g/l pour tuer 10 % des abeilles en 48 heures (Tableau 2). Le pourcentage estimé de mortalité naturelle dans l'essai : 9,39 %. Le test d'ajustement du modèle aux données (Test du Chi<sup>2</sup>) a donné les résultats suivants:  $\chi^2$  calculé = 15.358; ddl = 6;  $p$  de dépassement du  $\chi^2 = 0.018\%$ , indiquant qu'il n'y pas un effet dose réponse. En d'autres termes que le taux de mortalité n'augmente pas nécessairement avec l'augmentation de la dose.

### 3.2. Évaluation de la toxicité de thunder

#### 3.2.1. Sensibilité des abeilles aux différentes doses de thunder appliquées.

Les résultats de la sensibilité des abeilles à l'insecticide sont exposés dans le tableau 3.

**Tableau 3.** Effet des doses croissantes de matières actives de l'insecticide thunder sur la mortalité des abeilles.

Traitements	Dose par abeille (ng/μl /ab)	Mortalité (%)			
		2 heures	10 heures	24 heures	48 heures
Témoin	néant	0,0 ± 0,0 f	4,0 ± 0,0 e	5,3 ± 1,3 b	9,6 ± 1,3 b
50 ppm	7,25 ng/μl/ab	17,3 ± 1,3 de	65,0 ± 5,8 d	94,0 ± 2,6 a	98,6 ± 1,3 a
100 ppm	14,5 ng/μl/ab	10,6 ± 2,6 e	70,0 ± 1,3 cd	96,0 ± 2,3 a	96,0 ± 2,3 a
250 ppm	36,25 ng/μl/ab	28,0 ± 4,0 d	85,0 ± 1,3 bc	94,6 ± 2,6 a	98,6 ± 1,3 a
500 ppm	72,5 ng/μl/ab	12 ± 2,3 e	78,6 ± 5,8 cd	93,3 ± 4,8 a	96,0 ± 2,3 a
1 000 ppm	145 ng/μl/ab	42,6 ± 8,7 c	74,7 ± 9,6 bcd	97,3 ± 1,3 a	98,6 ± 1,3 a
2 000 ppm	290 ng/μl/ab	52,0 ± 6,1 bc	81,3 ± 2,6 ba	100,0 ± 0,0 a	100,0 ± 0,0 a
3 000 ppm	435 ng/μl/ab	64,0 ± 2,3 ba	92,0 ± 4,0 ba	100,0 ± 0,0 a	100,0 ± 0,0 a
50 000 ppm	725 ng/μl/ab	69,3 ± 1,3 a	92,0 ± 2,3 a	100,0 ± 0,0 a	100,0 ± 0,0 a
$F_{8,18}$		51,25	60,37	66,80	131,36
P		<,0001	<,0001	<,0001	<,0001

NB: Il n'existe pas de différence significative entre les moyennes portant une même lettre sur les colonnes.

Les résultats exposés dans le tableau 3 ont montré que, dix heures après l'application de l'insecticide thunder, même les doses les plus faibles de cette formulation ont provoqué des taux de mortalité supérieurs à 65 %. Après 24 heures d'exposition, toutes les doses ont indiqué une mortalité supérieure à 90 %. Les doses les plus élevées (725 ng/ab; 435 ng et 290 ng/ab) ont provoqué à cette même période une mortalité de 100 %, à l'exception de la plus faible. Les abeilles des traitements témoin ont montré un taux de mortalité inférieur à 10 %, 48 heures après le début du traitement.

### 3.2.2. Évaluation des doses létales à 10 % ; 50 % et 90 % de l'insecticide à base de thunder

Les valeurs des DL 10, DL 50 et DL 90 (Tableau 4) ont été obtenues à partir de l'analyse de l'effet de doses croissantes des matières actives sur le taux de mortalité des abeilles. Le tableau 4 présente les valeurs des différentes DL, 2 heures, 10 heures, 24 heures et 48 heures après le test.

**Tableau 4.** Doses létales de thunder et leurs limites inférieures et supérieures 2 h, 24 h et 48 h après le test de toxicité.

Doses létales	Doses létales à 50 % (g/l)	Limite inférieure (g/l)	Limite supérieure (g/l)
DL90 (2h)	$7,67 \times 10^0 \pm 5,91 \times 10^{-1}$	$2,76 \times 10^{-1}$	$2,12 \times 10^2$
DL50 (2h)	$2,49 \times 10^{-1} \pm 4,08 \times 10^{-1}$	$2,52 \times 10^{-2}$	$2,48 \times 10^0$
DL10 (2h)	$8,13 \times 10^{-3} \pm 1,22 \times 10^0$	$8,38 \times 10^{-6}$	$7,8 \times 10^0$
DL90 (10h)	$2,64 \times 10^{-1} \pm 1,49 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-1}$	$6,5 \times 10^{-1}$
DL50 (10h)	$1,99 \times 10^{-3} \pm 2,57 \times 10^{-1}$	$3,82 \times 10^{-4}$	$4,93 \times 10^{-3}$
DL10 (10h)	$1,49 \times 10^{-5} \pm 5,85 \times 10^{-1}$	$3,24 \times 10^{-7}$	$1,13 \times 10^{-4}$
DL90 (24 h)	$3,93 \times 10^{-3} \pm 4,19 \times 10^{-1}$	$2,96 \times 10^{-5}$	$1,43 \times 10^{-2}$
DL50 (24 h)	$1,1 \times 10^{-5} \pm 1,22 \times 10^0$	$1,33 \times 10^{-12}$	$3,22 \times 10^{-4}$
DL10 (24 h)	$3,10 \times 10^{-8} \pm 2,07 \times 10^0$	$4,92 \times 10^{-20}$	$8,91 \times 10^{-6}$
DL90 (48 h)	$5,41 \times 10^{-4} \pm 1,01 \times 10^0$	$1 \times 10^{-38}$	$6,17 \times 10^{-3}$
DL50 (48 h)	$4,97 \times 10^{-7} \pm 2,5 \times 10^0$	$1 \times 10^{-38}$	$1,53 \times 10^{-4}$
DL10 (48 h)	$4,56 \times 10^{-10} \pm 4,02 \times 10^0$	$1 \times 10^{-38}$	$4,39 \times 10^{-6}$

Les résultats ont montré qu'il faut  $7,67 \times 10^0 \pm 5,91 \times 10^{-1}$  g/l pour tuer 90 % des abeilles en 2 heures, contre  $2,49 \times 10^{-1} \pm 4,08 \times 10^{-1}$  g/l pour que meurent 50 % des abeilles pour le même délai. Les valeurs des limites inférieure et supérieure de ces doses létales ont varié entre  $2,76 \times 10^{-1}$  et  $2,52 \times 10^{-2}$  g/l pour les limites inférieures à  $2,12 \times 10^2$  g/l et  $2,48 \times 10^0$  g/l pour les limites supérieures. Quarante-huit (48) heures après le début du test, les valeurs des doses létales à 90 % et à 50 % étaient respectivement de  $5,41 \times 10^{-4} \pm 1,01 \times 10^0$  g/l et  $4,97 \times 10^{-7} \pm 2,5 \times 10^0$  g/l.

Les doses létales à 50 % occasionnées aux différentes étapes d'observation ont montré respectivement les valeurs suivantes pour 2h, 24h et 48 heures :  $8,13 \times 10^{-3} \pm 1,22 \times 10^0$  g/l;  $1,1 \times 10^{-5} \pm 1,22 \times 10^0$  et  $4,97 \times 10^{-7} \pm 2,5 \times 10^0$  g/l (Tableau 4).

L'analyse des données à 24 et 48 heures après le début de l'application a montré qu'il y a un effet dose réponse. En d'autres termes, la mortalité a augmenté avec l'augmentation de la dose, avec respectivement ( $\chi^2$ -calculé = 9,618; ddl = 6; p = 0,142 %) pour 24 heures, et ( $\chi^2$ -calculé = 7,21; ddl = 6 et p = 0,302 %) pour 48 heures.

## 3.3. Évaluation de la toxicité de l'insecticide lamdex 30 + chlorpyrifos 100

### 3.3.1. Sensibilité aux différentes doses appliquées de l'insecticide

Le tableau 5 montre la sensibilité des abeilles à différentes doses de l'insecticide lamdex, après 2 h, 10 h, 24 h et 48 h. Les données ont montré que la plus faible dose de l'insecticide (21,5 ng/ab) a induit une mortalité inférieure à 20 % contre une mortalité supérieure à 85 % pour la dose la plus élevée ( $2,15 \times 10^3$  ng/ab).

Il existe une différence hautement significative entre le taux de mortalité induit 2 h après le test par la plus forte dose et les taux de mortalité de toutes les autres doses utilisées.

Après 24 h, toutes les doses utilisées ont induit des taux de mortalité supérieurs à 88 %. Il n'existe pas de différence significative entre les différents taux de mortalité observés à cette période d'observation. Les abeilles du traitement témoin ont montré un taux de mortalité inférieur à 10 %. Il existe une différence hautement significative entre les taux de mortalité des abeilles du témoin et les taux de mortalité observés au niveau de tous les autres traitements aux différentes périodes d'observation.

**Tableau 5.** Effet des doses croissantes de matières actives de l'insecticide sur la mortalité des abeilles.

Traitements	Dose par abeille (ng/ab)	Mortalité (%)			
		2 heures	10 heures	24 heures	48 heures
Témoin	Néant	0,0 ± 0,0 f	4,0 ± 0,0 d	5,3 ± 1,3 b	9,3 ± 1,3 b
50 ppm	21,54	17,3 ± 3,5 e	70,6 ± 3,5 c	88,0 ± 4,0 a	96,4 ± 4,0 a
100 ppm	43,0	22,6 ± 1,3 ed	82,6 ± 4,8 c	96,0 ± 4,0 a	100,0 ± 0,0 a
250 ppm	107,5	29,3 ± 1,3 ed	85,3 ± 2,6 bc	100,0 ± 0,0 a	100,0 ± 0,0 a
500 ppm	215,0	33,3 ± 3,5 d	78,6 ± 3,5 bc	93,3 ± 4,8 a	98,6 ± 1,3 a
1 000 ppm	430	50,6 ± 1,3c	69,3 ± 4,8 bc	89,3 ± 2,7 a	100,0 ± 0,0 a
2 000 ppm	860	73,3 ± 7,4 b	78,6 ± 4,8 bc	93,3 ± 2,6 a	100,0 ± 0,0 a
3 000 ppm	1 290	74,6 ± 4,8 b	90,6 ± 3,5 ba	96,0 ± 4,0 a	100,0 ± 0,0 a
5 000 ppm	2 150	88,0 ± 2,3 a	96,0 ± 0,0 b	98,6 ± 1,3 a	100,0 ± 0,0 a
$F_{8,18}$		75,05	52,22	40,45	150,6
P		<,0001	<,0001	<,0001	<,0001

NB : Il n'existe pas de différence significative entre les moyennes portant une même lettre sur les colonnes.

Quarante-huit heures après, toutes les doses utilisées ont induit une mortalité au niveau de toutes les abeilles testées. La mortalité observée au niveau des abeilles du traitement témoin a été de 9,3 ± 1,3 %, 48 heures après l'application. Il existe une différence hautement significative entre les taux de mortalité observés au niveau du traitement témoin et toutes les doses utilisées ( $p < 0,0001$ ).

### 3.2.3. Évaluation des doses létales à 10 %; 50 % et 90 % de l'insecticide à base de lamdex 30 et de chlorpyrifos 100

L'étude des différentes doses létales induites par l'insecticide lamdex + chlorpyrifos après leur application a été résumée dans le tableau 6. Les résultats ont indiqué qu'il faut  $5,01654 \pm 1,20013 \times 10^{-1}$  g/l pour tuer 90 % des abeilles en 2 heures, contre  $7,68461 \pm 1,11089 \times 10^0$  g/l en 10 heures et  $5,57 \times 10^{-3} \pm 2,82$  g/l en 24 heures.

Le test du Chi<sup>2</sup> effectué 2 h, 10 h et 24 h après le test, a montré qu'il y a eu un effet dose réponse seulement 2 h après le test. En d'autres termes, la mortalité a augmenté avec l'augmentation de la dose, ( $\chi^2 = 10,969$ ; ddl : 6 ; Probabilité de dépassement du  $\chi^2 = 0,089\%$ ).

**Tableau 6.** Doses létales de lamdex + chlorpyrifox et leurs limites inférieures et supérieures 2 h, 10 h et 24 h après le test de toxicité.

Doses létales	Doses létales à 50 % (g/l)	Limite inférieure (g/l)	Limite supérieure (g/l)
DL90 (2h)	$5,01654 \times 10^0 \pm 1,20013 \times 10^{-1}$	$3,12993 \times 10^0$	$9,51526 \times 10^0$
DL50 (2h)	$2,89271 \times 10^{-1} \pm 5,37743 \times 10^{-2}$	$2,26222 \times 10^{-1}$	$3,70173 \times 10^{-1}$
DL10 (2h)	$1,66803 \times 10^{-2} \pm 1,19149 \times 10^{-1}$	$8,83624 \times 10^{-3}$	$2,66474 \times 10^{-2}$
DL90 (10h)	$7,68461 \times 10^0 \pm 1,11089 \times 10^0$	$1,49643 \times 10^{-2}$	$3,94628 \times 10^3$
DL50 (10h)	$1,47169 \times 10^{-4} \pm 2,13368 \times 10^0$	$9,15438 \times 10^{-10}$	$2,36593 \times 10^1$
DL10 (10h)	$2,81843 \times 10^{-9} \pm 5,21124 \times 10^0$	$5,42715 \times 10^{-22}$	$1,46367 \times 10^4$
DL90 (24h)	$5,57 \times 10^{-3} \pm 2,82 \times 10^0$	$7,33 \times 10^{-10}$	$4,23 \times 10^4$
DL50 (24h)	$1,94 \times 10^{-11} \pm 1,57 \times 10^1$	$1 \times 10^{-38}$	$4,7 \times 10^{27}$

## 4. Discussion

Les résultats de la présente étude ont montré l'impact de certains insecticides communément utilisés en agriculture au Bénin sur les abeilles. Utilisés dans la lutte contre les ravageurs, ces insecticides ont montré que leur nocivité par rapport au principal pollinisateur, l'abeille *Apis mellifera adansonii* est assez préoccupante. À notre connaissance, très peu d'études sur la toxicité des pesticides par rapport aux abeilles ont été réalisées en Afrique au sud du Sahara, en particulier.

Ces études sont d'autant plus importantes que, déjà en 1967, il a été rapporté que le carbaryl, un insecticide coton aux États-Unis a causé la destruction de 70 000 colonies d'abeilles dont 33 000 colonies dans l'État de Washington où il a servi à traiter le maïs Johansen (1977). Le nombre de colonies est aussi passé de 4,3 millions en 1985 à 2,7 millions en 1995 (Ingram et al., 1996). En Europe, le nombre de ruches a diminué d'environ 16 % entre 1985 et 1991, et le nombre d'apiculteurs d'environ 8 % (Williams et al., 1991). En France, l'effectif des apiculteurs et des ruches a respectivement diminué de 20 % et 30 % en 1996 et 2001 (Védrenne, 2002).

Dans ce cadre, plusieurs études ont été faites sur la toxicité pour les abeilles des pesticides, notamment insecticides. Ces études ont abouti à différents résultats, selon les matières actives et les conditions de laboratoire.

L'emamectine est une des molécules nouvellement introduite dans la protection de la culture du coton au Bénin. C'est un insecticide biologique, contenant de l'abamectine benzoate, une lactone produite de la fermentation de *Streptomyces avermitilis*. L'application des doses croissantes de 9,6 ng/ab ; 1,92 ng/ab à 96 ng/ab a donné des valeurs de DL50 variant de 0,134 ng/ab après 24 heures d'exposition à  $1,64 \times 10^{-2}$  ng/ab après 48 heures d'exposition des abeilles testées à l'insecticide. Notons que la valeur de la DL 50 après deux heures d'exposition a été de  $2,41 \times 10^{14} \pm 2,01 \times 10^2$ , valeur montrant la nature du produit et son innocuité dès la première exposition.

Nos travaux ont porté aussi sur la toxicité de thunder, un insecticide dont les matières actives sont la betacyfluthrine (45 g/l), un pyréthrinoloïde de synthèse et l'imidaclopride (100 g/l), qui est un insecticide de la famille des néonicotinoïdes. Nos valeurs de la DL50 ont varié de 19,9 ng/ab pour 10 h d'exposition à  $1,1 \times 10^{-2}$  ng/ab pour 18 h et  $5 \times 10^{-4}$  ng/ab pour 36 h. Nos résultats ont corroboré ceux de Suchail et al. (2000), qui ont obtenu pour la DL50 à 24 et 48 h, 24 ng/ab par application topique de l'imidaclopride sur *Apis mellifera mellifera*. Les mêmes auteurs montrent les valeurs de 14 µg/ab pour *Apis mellifera caucasica* par application topique. Nauen et al. (2001) obtiennent une DL50 variant de 49 à 102 ng/ab à 48 h par application topique.

En France, le Gaucho, un insecticide à base d'imidaclopride, est soupçonné de provoquer une baisse de la population d'abeilles et de la production de miel. Une étude de Araki et al., 1994 cité par Suchail et al., 2009, a mis en évidence une toxicité extrêmement élevée de l'imidaclopride (DL50 égal à 600 mg/kg d'abeilles) ainsi que de deux de ses métabolites : le 5-hydroxy-imidaclopride (DL50 = 2 600 mg/kg d'abeilles) et l'oléfine (DL50 = 300 mg/kg d'abeilles ; Suchail et al., 2000 ; 2001 cité par Suchail et al., 2009).

La betacyfluthrine est une substance active qui présente un effet insecticide, et qui appartient à la famille chimique des pyréthrinoloïdes de synthèse. Dans le thunder, l'efficacité des deux matières actives est rendue possible grâce à une formulation O-TEQ. Ce synergisme permet une plus haute efficacité, ce qui explique nos résultats très inférieurs aux résultats obtenus par divers auteurs avec l'imidaclopride seul (Suchail et al., 2000 ; Nauen et al., 2001 ; Rafalimanana, 2003).

Les études réalisées avec l'insecticide contenant lamdex 30 et du chlorpyrifos 400 ont montré les valeurs de la DL50 qui ont varié de 0,15 ng/ab après 10 heures d'exposition à



1,94 10<sup>-8</sup> ng/ab après 18 heures d'exposition. Nos résultats ont corroboré ceux de Worthing (1979) et de Stevenson (1978), qui montrent que la DL50 du chlorpyrifos éthyl à 24 et 48 h, sur l'abeille *Apis mellifera mellifera* est de 59 ng/ab par application. Finizio (1998) obtient 250 ng/ab pour l'application topique. Par contre, Rafalimanana (2003) obtient 34,55 ng/ab par application topique. Les valeurs obtenues au cours de nos études ont été inférieures à toutes ces valeurs de DL50 mentionnées par les différents auteurs. Le chlorpyrifos éthyl est généralement classé comme toxique pour les abeilles. Les effets sublétaux du chlorpyrifos éthyl sur l'abeille ne sont pas connus.

Ces résultats peuvent s'expliquer en partie par la présence de deux matières actives que sont lamdex 30 et du chlorpyrifos 100 dans l'insecticide. Le probable synergisme de ces deux matières actives expliquerait les faibles valeurs de DL50 observées, donc sa forte toxicité pour les abeilles.

Différentes raisons sont avancées pour expliquer cette variabilité. La toxicité des matières actives varie suivant le mode d'application (topique, contact tarsal, ingestion collective ou ingestion individuelle), les conditions expérimentales (température, humidité relative), les paramètres expérimentaux (nombre d'abeilles dans chaque lot, nombre de répétitions, concentration du sucre dans le sirop, quantité d'acétone pour diluer la matière active) (Atkins et al., 1981 ; Faucon et al., 1985 ; Decourtye, 2002 ; Rafalimanana, 2003). Des études ont montré que la toxicité des pyréthrinoides varie en fonction de la température (Soderlund, Bloomquist, 1989 ; Gromisz, Gromisz, 1994).

Plusieurs études ont été réalisées sur les effets de la deltaméthrine sur les abeilles *Apis mellifera mellifera*. Stevenson (1978) et Worthing (1979) trouvent une DL50 à 24 et 48 h de 51 ng/ab par application topique. Smart et Stevenson (1982) indiquent la même valeur que ces deux derniers par application topique. La valeur de la DL50 trouvée par Atkins et Anderson (1954) est de 0,067 µg/ab par application topique. Les études de Rafalimanana (2003) indiquent une valeur de la DL50 de 109,72 ng/ab par application topique et 239,50 ng/ab pour l'ingestion collective. Smart et Stevenson (1982) obtiennent 0,027 µg/ab pour l'application topique (Rafalimanana, 2003). Ces résultats indiquent que les valeurs de DL peuvent varier selon plusieurs facteurs. En effet, la DL50 peut varier suivant les conditions de réalisation de l'expérience. Les études réalisées sur la toxicité par application topique de la deltaméthrine pour les abeilles montrent que, lorsque l'expérience se réalise à 32 °C et à 50 % HR, une DL50 variant de 0,025 à 0,037 µg/ab est obtenue (Bos, 1981). Par contre lorsque les conditions de température sont 20 °C et l'humidité relative à 30 %, il est obtenu une valeur de la DL50 comprise entre 0,006 à 0,011 µg/ab (Rafalimanana, 2003).

Face à tout ce qui précède, la lutte raisonnée (utilisation rationnelle des pesticides chimiques) contre les ravageurs des cultures est l'un des facteurs qui conditionne la réussite de la protection des végétaux et de la préservation de notre environnement.

Les différents impacts de la toxicité des pesticides aux abeilles n'ont concerné que les impacts directs, qui sont visibles suite à une mauvaise utilisation d'une matière active. Cependant nombreuses sont les autres conséquences de cette mauvaise pratique agricole en protection des cultures. Au nombre de celles-ci on peut citer :

- Le changement des attitudes et aptitudes comportementales des abeilles ;
- La toxicité des produits de la ruche ;
- L'augmentation de la sensibilité des abeilles aux différentes attaques des parasites et maladies, tout ceci conduisant à la désertion des ruches et à la disparition de plusieurs centaines d'essaims, phénomène déjà observé par les apiculteurs au Bénin.

Au nombre des aptitudes comportementales, les performances d'apprentissage et de mémorisation permettent aux abeilles de s'adapter aux variations du signal appris initialement (Pham-Delègue et al., 1992 ; Masson et al., 1993). Une dose sub-létale de perméthrine (Mamood, Waller, 1990), ou l'administration sub-chronique d'imidaclopride et d'endosulfan



(Decourtye, 2002) ou les applications de doses au champ d'endosulfan et de cyfluthrine (Abramson et al., 2000) diminuent la capacité d'apprentissage olfactif.

## 5. Conclusion

L'utilisation des insecticides dans le cadre de la lutte intégrée est le plus souvent indispensable pour assurer une production abondante, régulière et de qualité. Les insecticides sont élaborés pour tuer les ravageurs et non les auxiliaires des cultures. Cependant leur mode d'utilisation n'est souvent pas compatible avec les activités des abeilles. Ces études ont montré l'urgence de l'intégration de l'aspect protection de l'abeille dans toutes les stratégies de protection de nos cultures aux fins de s'assurer de la promotion de bonnes pratiques agricoles en matière de protection des cultures. Les insecticides testés dans le cadre de cette étude sont parmi les plus utilisés en protection du coton, des cultures maraîchères et en arboriculture. Ces cultures sont dépendantes à au moins 90 % voire plus, de la pollinisation des abeilles et autres pollinisateurs pour leur rendement. Le choix non judicieux, de même que les mauvaises pratiques en protection des végétaux représentent un réel handicap à la réalisation des objectifs de l'agriculture moderne qui visent l'augmentation des rendements et la sécurité alimentaire. Une codification de l'utilisation de la plupart des insecticides étudiés devrait permettre de sauvegarder les auxiliaires des cultures tout en augmentant considérablement les rendements. La promotion de stratégies dans le cadre de la vulgarisation des bonnes pratiques agricoles en protection phytosanitaire est un gage devant assurer une agriculture durable et une protection de l'environnement, de l'homme et de la biodiversité.

## Remerciements

Ces travaux ont été financés à travers les fonds de recherche mis à notre disposition par le Conseil scientifique de l'Université de Parakou. Nous remercions sincèrement le Laboratoire de Protection des Végétaux, de Pathologie et de Parasitologie des Abeilles de Parakou pour avoir partiellement financé cette étude. Toute notre gratitude à tous les apiculteurs qui ont bien voulu que des prélèvements soient effectués dans leurs ruchers. Nos remerciements aux lecteurs anonymes qui ont accepté de lire les premières versions de cet article et prodigué leurs conseils dans le cadre de l'amélioration de sa qualité.

## Bibliographie

- Abbott W.S., 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, **18**, 265-267.
- Abramson C.I., Aquino I.S., Ramalho F.S., Price J.M., 2000. The effect of insecticides on learning in the Africanized Honey bee (*Apis mellifera* L.). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **37**, 529-535.
- Adam F., 1985. *Les croisements et l'apiculture de demain*. Paris, Syndicat National Apiculture, 127 p.
- AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments), 2008. *Mortalités, effondrements et affaiblissements des colonies d'abeilles*. 155 p. [http://beekeeping.com/articles/fr/afssa\\_mortalite\\_abeilles.pdf](http://beekeeping.com/articles/fr/afssa_mortalite_abeilles.pdf)
- Agbohessi P.T., Imorou Toko I., Yabi J.A., Dassoundo-Assogba J.F.C., Kestemont P., 2011. Caractérisation des pesticides chimiques utilisés en production cotonnière et impact sur les indicateurs économiques dans la Commune de Banikoara au nord du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **5**(5), 1828-1841.
- Agromisa, 1994. *L'apiculture sous les tropiques*. CTA, Wageningen, The Netherlands, 75 p.
- Araki Y. et al., 1994. *Metabolism of imidacloprid in plants*. Proceedings IUPAC Congress, Washington.

- Assogba-Komlan F. et al., 2007. Pratiques culturelles et teneur en éléments anti-nutritionnels (nitrates et pesticides) du *Solanum macrocarpum* au sud du Bénin. *African Journal of Food Agriculture Nutrition and Developpment*, **7**(4), 1-21.
- Atkins E.L., Anderson L.D., 1954. Toxicity of pesticide dust to honey bees. *Journal of Economic Entomology*, **47**, 969-972.
- Atkins E.L., Kellum D., Atkins K.W., 1981. *Reducing pesticide hazards to honey bees mortality prediction techniques and integrated management strategies*. Division of Agricultural Sciences, University of California, 23 p.
- Bos C., 1981. *Mode d'action des pyrethrinoides de synthèse sur l'abeille, approches au laboratoire et en plein champ*. Diplôme d'études approfondies. Université Paris VII- ENSIA. 42 p.
- Costanza R., D'Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., 1997. The value of the world's ecosystem and natural capital. *Nature*, **387**, 253-260.
- CSPR (Centrale de Sécurisation des Paiements et Recouvrements), 2010. *Évolution de la production cotonnière au cours des 20 dernières années au Bénin, fiche récapitulative*. Presse du CSPR, Cotonou, 15 p.
- Darrouzet E., 2006. Insecticides et mortalité des Abeilles domestiques. *Insectes*, **142**(3), 15-17.
- Decourtye A., 2002. *Étude de l'impact de produits phytopharmaceutiques sur la survie et l'apprentissage associatif chez l'abeille domestique (Apis mellifera L.)*. Thèse de doctorat. Université de Paris XI- UFR Scientifique d'Orsay, 134 p.
- Douro Kpindou O.K. et al., 2013. Comparative study of the efficacy of entomopathogenic fungi, chemicals and botanical pesticides in the management of cotton pests and their natural enemies in Benin. *International Journal of Science and Advanced Technology*, **3**(1), 21-33.
- Faucon J.P., Colin M.E., 1983. Bizarres disparitions. *Revue Française d'Apiculture*, **422**, 411 p.
- Faucon J.P., Flamini C., Colin M.E., 1985. Évaluation de l'incidence de la deltaméthrine sur les problèmes de cheptel apicole. *Bulletin Vétérinaire*, **17**, 49-66.
- Finizio A., 1998. *Definizione di criteri di classificazione del rischio ambientale di prodotti fitosanitari, con particolare riferimento agli effetti su organismi non bersaglio* (Parte II). Rapporto ANPA N.ro 97-58-RC050-75, ANPA, Roma.
- Finney D.J., 1971. *Probit Analysis*. 3<sup>rd</sup> ed. Cambridge University Press, New York.
- Gromisz Z., Gromisz M., 1994. Szkodliwe działanie kontaktowe preparatu Decis dla pszczol wocenie laboratory jny. *Pszczelnicze Zesz Nauk*, **38**, 57-66.
- Ingram M., Nabhan G.P., Buchmann S., 1996. Impending pollination crisis threatens biodiversity and agriculture. *Tropinet*, **7**, 1.
- INSAE, 2003. *Rapport ECVR2*, Bénin. 156 p.
- Johansen C.A., 1977. Pesticides and pollinators. *Annual Review of Entomology*, **22**, 177-192.
- Katary A., 2003. *Étude spatio-temporelle de la gestion de la résistance de Helicoverpa Armigera (Hübner, 1808) aux pyrethrinoides en culture cotonnière au Bénin*, Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, 202 p.
- Masson C. et al., 1993. Recent advances in the concept of adaptation to natural odor signals in the honeybee, *Apis mellifera* L. *Apidologie*, **24**, 169-194.
- Mamood A.N., Waller G.D., 1990. Recovery of learning responses by honeybees following a sublethal exposure to permethrin. *Physiological Entomology*, **15**, 55-60.
- Mensah G.A., Pomalegni C.B., Ekue M.R.M., Hounha J.M., 2004. *Diagnostic des contraintes à l'apiculture dans les localités riveraines des forêts classées de Goungoun et de la Sota dans le Nord Bénin*. Communication à l'atelier scientifique nord de l'INRAB, 9 p.
- Nauen R., Ebbinghaus-Kintscher U., Schmuck R., 2001. Toxicity and nicotinic acetylcholine receptor interaction of imidacloprid and its metbolites in *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae). *Pest Management Science*, **57**, 577-586.
- Paraíso A., Cornelissen B., Viniwanou N., 2011a. *Varroa destructor* infestation of honey bee (*Apis mellifera adansonii*) colonies in Benin. *Journal of Apicultural Research*, **50**(4), 321-322.

- Paraïso A., Viniwanou N., Akossou A.Y.J., Mensah G.A., Abiola W., 2011b. Caractérisation morphométrique de l'abeille *Apis mellifera adansonii* au Nord-Est du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **5**(1), 331-344.
- Paraïso A.A., Sossou A., Daouda Iz-H., Yegbemey R.N., Sanni A., 2012a. Perceptions and adaptations of beekeepers and honey hunters to climate change in the Northwest of Benin: case of the Communes of Natitingou and Tanguéta. *African Crop Science Journal*, **20**, (Issue Supplement s2), p. 523-532.
- Paraïso A. et al., 2012b. Déterminants et contraintes de la production du miel dans le Nord-Ouest du Bénin : Cas des communes de Natitingou et de Tanguéta. *Journal de Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*, **14**(1), 69-84.
- Paraïso A., Tokoudagba S.F., Olodo G.P., Yegbemey R.N., Sanni A., 2012c. Beekeeping and Honey production in Northwest Benin: A Case Study of the Communes of Natitingou and Tanguéta. *International Journal of Science and Advanced Technology*, **2**(12), 11-23.
- Pham-Delègue M.H., Etiévant P., Masson C., 1992. Allelochemicals mediating foraging behaviour: the bee-sunflower model. In: Goodman L.J., Fisher R.C. (eds). *The Behaviour and Physiology of bees*. CABI, Wallingford, Oxon, UK. p. 163-164.
- Pouvreau A., 1984. Quelques cultures fruitières des régions tropicales. In : Pesson P., Louveaux J. (eds). *Pollinisation et productions végétales*. Quæ, Paris. p. 409-426.
- Programme de professionnalisation de l'agriculture au Bénin (PPAB), 2004. *Le point sur la filière anacarde*, note d'information, 9 p.
- Rafalimanana H.J., 2003. *Évaluation des effets d'insecticides sur deux types d'Hyménoptères auxiliaires des cultures, l'abeille domestique (Apis mellifera L.) et des parasitoïdes de pucerons : études de terrain à Madagascar et de laboratoire en France*. Thèse INAPG (AgroParisTech), Paris.
- Sacase C., 2008. L'abeille a-t-elle un avenir ? *Animaux Magazine*, Jan/Fév. 08.
- SCRP, 2007. *Document de Stratégies de croissance pour la réduction de la pauvreté au Bénin 2007-2009*. 117 p.
- Smart L.E., Stevenson J.H., 1982. Laboratory estimation of toxicity of pyrethroid insecticides to honeybees: relevance to hazard in the field. *Bee World*, **63**, 150-153.
- Stevenson H., 1978. The acute toxicity of unformulated pesticides to worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *Plant Pathology*, **27**, 38-40.
- Suchail S., Guez D., Belzunces L., 2000. Characteristics of imidacloprid toxicity in two *Apis mellifera* subspecies. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **19**, 1901-1905.
- Suchail S., Belzunces L.P., Vaissière B.E., 2009. Toxicité subchronique de l'imidaclopride et de ses métabolites chez l'abeille domestique *Apis mellifera*. *Abeille de France*. [http://www.beekeeping.com/abeille-de-france/articles/toxicite\\_subchronique.htm](http://www.beekeeping.com/abeille-de-france/articles/toxicite_subchronique.htm)
- Soderlund D.M., Bloomquist J.R., 1989. Neurotoxic actions of pyrethroid insecticides. *Annual Review of Entomology*, **34**, 77-96.
- Tassei J.N., 1996. *Impact des pesticides sur les Abeilles et les autres pollinisateurs*. 11 p. <http://www.beekeeping.com/articles/fr/tasei.htm>
- Ton P., Wankpo E., 2004. *La production du coton au Bénin*. FUPRO, Bénin, Numéro AgriStudies : 15.4.04 2794. Pays-Bas et Bénin, 56 p. [http://www.slire.net/download/1889/la\\_production\\_du\\_coton\\_au\\_b\\_nin.pdf](http://www.slire.net/download/1889/la_production_du_coton_au_b_nin.pdf)
- Vaissière B., Morison N., Carre G., 2005. Abeilles, pollinisation et biodiversité. *Abeilles et colonies*, **106**(3), 10-14.
- Védrenne Y., 2002. L'apiculture en France. *Le Courrier de la Nature*, **196**, 39-41.
- Viniwanou N., 2010. *Caractéristiques morphométriques de l'abeille Apis mellifera adansonii et identification de quelques parasites et maladies dans des ruchers au Nord-Est du Bénin*. Thèse. Département de Production Végétale, UNIPAR, Bénin, 79 p.
- Williams I.H., Corbert S.A., Osborne J.L., 1991. Beekeeping, wild bees and pollination in the European Community. *Bee World*, **72**, 170-180.
- Worthing C.R., 1979. *The pesticide manual. A world compendium*. 6<sup>th</sup> edition. British Crop Protection Council, Croydon, UK. 655 p. <http://www.ancb.org>.

## Valorisation de la fumure organique dans les systèmes de culture à base de cotonniers et sécurité alimentaire en Côte d'Ivoire

N'Goran Kouadio Emmanuel, CNRA/Programme Coton, ngoran-kouadio@yahoo.fr

N'Guessan Essoi, CNRA/Programme Coton, nguessanesso@yahoo.fr

Tehia Kouakou Etienne, CNRA/Programme Coton, tehiako@yahoo.fr

Zohouri Goli Pierre, CNRA/Programme Plantes à Racines et Tubercules, gpzohouri@yahoo.fr

Ochou Ochou Germain, CNRA/Programme Coton, ochougo@aviso.ci

Yoro Gballou René, CNRA/Laboratoire Central, Sols, Eaux et Plantes, yororenegballou@yahoo.fr

CNRA (Centre National de Recherche Agronomique), Bouaké, Côte d'Ivoire

### Résumé

En Côte d'Ivoire, le coton constitue l'une des principales sources de revenus des populations paysannes du Nord et du Centre. Il est cultivé sur plus de 300 000 hectares et occupe plus de 100 000 producteurs en majorité des petits exploitants. Le maintien de la fertilité des sols demeure une préoccupation importante dans les systèmes de culture à base de cotonnier en Côte d'Ivoire. Cette étude fait le point de l'adoption des techniques de fertilisation organique vulgarisées dans la zone de savane afin de dégager les forces et faiblesses de ces techniques pour que d'éventuelles corrections soient proposées. Tout cela dans un souci de contribuer à l'amélioration de la productivité des systèmes de culture à base de cotonnier. L'étude s'est appuyée sur une enquête menée auprès de producteurs de coton. De cette étude, il ressort que l'utilisation des techniques de fertilisation organique améliore les rendements du coton et des cultures vivrières subséquentes (maïs, riz pluvial, arachide, igname, mil et sorgho) mais de faibles taux d'adoption de ces techniques vulgarisées sont observés. Cette faible adoption est liée, entre autres contraintes, au transport du fumier, au manque de bétail, à l'enherbement massif.

### Manuring in cotton-based cropping systems and food security in Côte d'Ivoire

In Côte d'Ivoire, cotton is one of the main sources of income for farming populations of the North and Center. It is grown on over 300,000 hectares and employs more than 100,000 producers, majority of smallholder farmers. The maintenance of soil fertility remains a major concern in cropping systems based on cotton in Côte d'Ivoire. This study updates the adoption of organic fertilization techniques popularized in the savannah, in order to identify the strengths and weaknesses of these techniques so that any corrections are proposed. All this with a view to contribute to the improvement the productivity of farming systems based on cotton. The study was based on a survey of cotton producers. From this study, it appears that the use of organic fertilization techniques improves cotton yields and subsequent food crops (maize, upland rice, groundnut, yam, millet and sorghum), but low levels of adoption of these techniques popularized are observed. This low adoption is related among other constraints, the transport of manure, lack of cattle and the massive weed.

## 1. Introduction

Le coton représente la principale source de revenus des agriculteurs en zone de savane de Côte d'Ivoire. Il était cultivé sur près de 300 000 ha et occupait plus de 200 000 producteurs avant la crise socio-politique survenue en Côte d'Ivoire en 2002. Ces producteurs sont, en majorité, de petits exploitants.

Le rendement moyen national qui était de 1 400 kg/ha avant la crise socio-politique est passé à moins de 800 kg/ha. Cette chute de rendement est due à de nombreuses causes dont la

baisse de la fertilité des sols cotonniers. Cette situation est souvent liée à la faible utilisation des engrais minéraux par les producteurs dans les bassins cotonniers. Cette situation s'explique d'un côté, par l'augmentation des prix des engrais minéraux et de l'autre côté, par la baisse du pouvoir d'achat des producteurs de coton, au cours de ces huit dernières années.

La mise en jachère des terres, après quelques années de culture, combinée à la colonisation de nouvelles terres, a été longtemps la solution à cette contrainte de fertilité des terres. Cette solution n'a plus cours à cause de la pression démographique et de l'occupation des terrains par d'autres cultures plus rentables.

Les modes de gestion de la fertilité des sols sous coton par les paysans ne permettent plus de stabiliser la productivité des terres (Amidou et al., 2003). Le maintien de cette fertilité des sols demeure donc une préoccupation pour les exploitants agricoles de la zone des savanes. Face à cette situation, la fertilisation organique semble une alternative intéressante. Il importe aujourd'hui d'identifier les pratiques en cours en fumures organiques et d'y apporter les corrections éventuelles en vue de contribuer à l'amélioration de la productivité de la culture cotonnière en Côte d'Ivoire.

## **2. Méthodologie**

### **2.1. Groupes cibles**

L'étude a été réalisée de septembre à octobre 2009 en deux phases : dans un premier temps, une pré-enquête a été effectuée auprès des responsables des principales sociétés cotonnières actuelles (CIDT, Ivoire Coton, COIC). Cette investigation nous a guidé dans le choix des localités et des exploitants pratiquant la fumure organique en culture conventionnelle. Dans un second temps, l'enquête proprement dite avec les exploitants agricoles a été conduite sous la forme d'un entretien direct.

### **2.2. Sites d'investigation**

L'enquête auprès des producteurs a été conduite dans les trois principales zones de production du coton en Côte d'Ivoire que sont le Nord-Ouest (Boundiali et Niofoin), le Nord-Est (Komboro, Napié, Korhogo, Sinématiali, Karakoro et Tioro) et le Centre (Niakara, Marandallah, Mankono et Tiéningboué) (Figure 1).

### **2.3. Échantillonnage**

Les investigations ont porté sur un total de 223 producteurs de coton dont 114 dans la zone Centre, 60 paysans au Nord-Est et 49 paysans au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire. Le nombre de producteurs interrogés par localité varie selon l'importance ou le degré d'adoption de la pratique en fumure organique.

### **2.4. Méthode d'enquête**

L'enquête a été réalisée à travers un questionnaire à passage unique. Ce formulaire prend en compte deux points principaux :

- les caractéristiques des exploitations pratiquant la fumure organique, à savoir la population de l'exploitation y compris l'exploitant, la place du coton dans les superficies cultivées, l'expérience dans la pratique de la culture du coton ;
- la situation détaillée des pratiques de fumure organique en usage dans le bassin cotonnier.

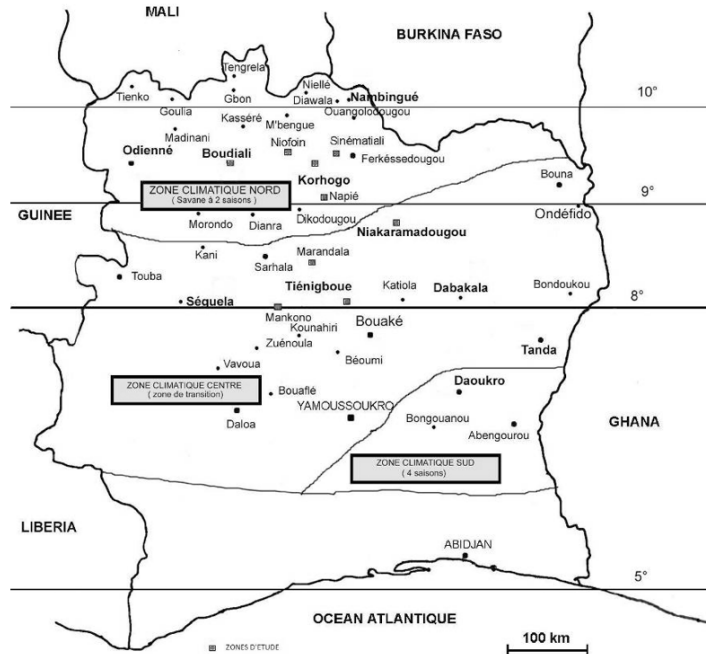


Figure 1. Sites d'étude.

Cette situation détaillée concerne les types de fertilisation organique, la superficie des parcelles fumées, le nombre d'années d'utilisation de ce type de fumure, le niveau de rendement suite à l'utilisation d'un type de fumure, le mode d'obtention de l'engrais organique, les difficultés liées à l'obtention et la dose des engrais organiques utilisés.

## 2.5. Méthode d'analyse des données

Pour l'analyse de l'ensemble des données, nous avons utilisé essentiellement Excel version 2007 qui a servi à la réalisation de la statistique descriptive (calcul de moyenne, écart-type, fréquences absolue et/ou relative) et des graphiques.

## 3. Résultats

### 3.1. Caractéristiques des exploitations pratiquant la fumure organique

#### 3.1.1. Main-d'œuvre

Les données sur les exploitations sont présentées dans le tableau 1. L'âge des exploitants s'étend de 22 à 95 ans avec une moyenne d'environ 41 ans. La population agricole des zones cotonnières est relativement moins jeune.

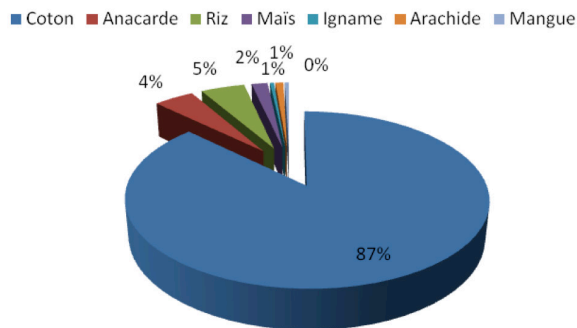
L'exploitation agricole est composée de 15 personnes en moyenne y compris le chef d'exploitation, soit en moyenne sept enfants, trois femmes et cinq hommes. On compte en moyenne près de neuf actifs agricoles familiaux par exploitation. Il en résulte que 60% de la population de l'exploitation constitue la main-d'œuvre agricole familiale.

**Tableau 1.** Caractéristiques de l'exploitation agricole.

Caractéristiques	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
Âge de l'exploitant	22	95	41,48	10,59
Enfants à charge	0	30	6,94	4,38
Femmes à charge	1	16	3,37	2,08
Hommes à charge	0	50	4,78	5,67
Population totale	2	88	15,02	9,32
Enfants actifs agricoles	0	30	3,03	3,65
Femmes actives agricoles	0	16	3,03	1,93
Hommes actifs agricoles	0	22	3,43	2,62
Total travail	1	59	9,48	6,46

### 3.1.2. Systèmes de cultures pratiqués

Les principales cultures pratiquées actuellement dans le bassin cotonnier sont le coton, l'anacarde, le maïs, le riz pluvial, l'arachide, l'igname et le manguier. La figure 2 indique l'importance de ces spéculations en termes de superficies dans les exploitations agricoles des producteurs interrogés. Le coton a occupé la première place, en termes de superficie, dans les assolements pratiqués au cours de la campagne 2009/2010 pour 87 % des exploitants interrogés. Durant cette campagne, le riz et l'anacarde occupent la première place pour respectivement 5 et 4 % des producteurs. Les taux sont très faibles pour le maïs, l'igname, l'arachide et la mangue.



**Figure 2.** Taux (%) de surfaces emblavées par les différentes cultures en zone cotonnière pendant la campagne 2009-2010.

### 3.1.3. Expérience dans la pratique de la culture du coton

L'expérience des producteurs est variable. Elle va de 0 à 50 ans. La majorité des exploitants (63 %) ont entre 11 et 25 années d'expérience avec un pic pour la classe de 16 à 20. Environ 21 % des exploitants ont plus de 26 ans d'expérience de la culture de coton. Environ 16 % des producteurs interviewés ont moins de 10 ans d'expérience en culture de coton (Figure 3).

## 3.2. Différentes pratiques de la fumure organique

Pour la fertilisation des exploitations et plus particulièrement des parcelles cotonnières, différentes techniques de fertilisation organique sont pratiquées par les producteurs (Figure 4). Parmi ces techniques pratiquées, certaines sont traditionnelles (endogènes) et d'autres ont été introduites par les sociétés cotonnières.



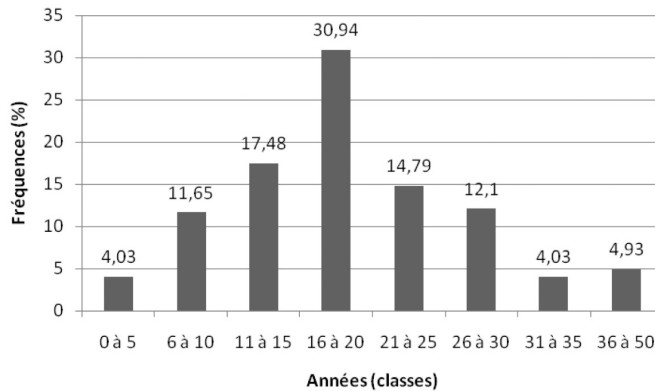


Figure 3. Distribution des exploitants selon le nombre d'années de pratique de la culture de coton.

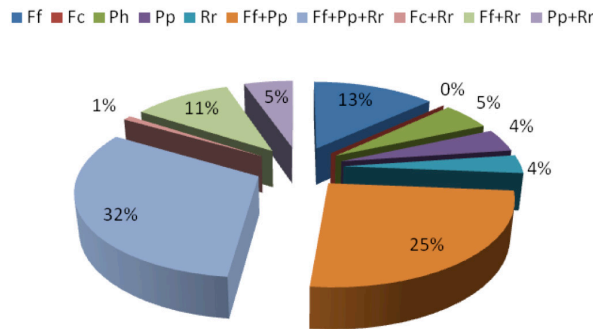


Figure 4. Types de fumure organique et leur taux d'adoption.

Légende : Ff = Fumier de fosse ; Fc = Fumier de compost ; Pp = Poudrette de parc ; Rr = Résidus de récolte ; Ph = Parc d'hivernage.

### 3.2.1. Pratiques endogènes

Une seule pratique a été recensée. Il s'agit de l'utilisation de la **poudrette de parc (Pp)** qui est une méthode traditionnelle. Elle est un mélange de déjections, d'urine et de terre desséchée sur place. Elle est pratiquée par 4% des producteurs de coton. Elle est surtout utilisée dans les régions à forte pression foncière et à partir des parcs individuels ou familiaux. Ce sont les champs proches du village qui bénéficient des apports de poudrettes. Les fèces de début de saison des pluies, avant la maturité des herbes n'entraînent pas l'enherbement des parcelles.

### 3.2.2. Pratiques vulgarisées par les sociétés cotonnières

Quatre techniques de fertilisation organique ont été introduites par les sociétés cotonnières. Elles sont :

#### – la fosse fumière (fumier de fosse : Ff)

Cette technique de fertilisation est la plus utilisée par les producteurs de coton. Environ 13% des producteurs de coton l'utilisent. Le fumier est produit à partir des résidus de récolte, des refus de fourrage et des déjections animales dès la fin de la saison sèche. Les fosses fumières vulgarisées en Côte d'Ivoire sont faites par la collecte des ordures ménagères et des déchets organiques de la cour, y compris les fumiers des moutons, des ânes et des bœufs de traits à l'attache ou en étable, ainsi que les herbes provenant des sarclages du pourtour de l'habitation. Elle est creusée en bordure de la zone d'habitation, ou près de l'étable.

– la **fosse compostière (fumier de compost : Fc)**

Le compost est une transformation des matières végétales, effectuée en fosse par fermentation aérobique amorcée par les excréments d'animaux et entretenue par un minimum d'humidité pendant 4 à 8 mois. Selon les enquêtes, cette technique est associée à d'autres techniques de fertilisation. Aucun producteur de coton ne pratique actuellement cette forme de fumure seule pour la fertilisation des parcelles cotonnières.

– la **restitution des résidus des récoltes (Rr)**

Dans l'échantillon interviewé, 3 % des paysans utilisent cette technique seule. La technique de restitution de résidus de récolte consiste à renvoyer au sol une partie du matériel végétal récolté (fanes et autres). Ces résidus déposés constituent une source de matière organique qui en se minéralisant libère des éléments qui enrichissent le sol.

– le **parc d'hivernage (Ph)**

Il est utilisé par 5 % des paysans enquêtés. Cette technique consiste à faire piétiner, broyer et enrichir les débris végétaux par des bovins en saison sèche dans un parc clôturé. Le mélange des résidus végétaux et de fèces évolue ensuite sous l'effet des pluies sans autres interventions pour donner un fumier de bonne qualité.

Quatre combinaisons majeures de pratiques endogènes et vulgarisées ont été recensées chez les producteurs de coton :

- la combinaison fumier de fosse-poudrette de parc (Ff + Pp). Près de 25 % des producteurs utilisent la combinaison fumier de fosse et poudrette de parc ;
- la combinaison fumier de fosse-poudrette de parc-résidus de récolte (Ff + Pp + Rr). Environ 32 % des producteurs utilisent en même temps le fumier, la poudrette de parc et les résidus de récolte ;
- la combinaison fumier de fosse-résidus de récolte (Ff + Rr). Le fumier de fosse est utilisé en association avec les résidus de récolte (arachide, coton, maïs, mil, sorgho, etc.) par environ 11 % des producteurs ;
- la combinaison poudrette de parc-résidus de récolte (Pp + Rr). Près de 5 % des producteurs pratiquent l'association de la poudrette avec les résidus de récolte.

### 3.2.3. *Conduite de la fertilisation organique dans le bassin cotonnier*

Le nombre d'années de pratique de la fumure organique sur tout l'ensemble du bassin cotonnier a varié de 1 à 30 ans avec une moyenne de 8 ans.

S'agissant des doses de fumure organique appliquées dans les parcelles cotonnières, plusieurs méthodes ont été utilisées par les producteurs. Mais la majorité des producteurs ont utilisé la charrette comme unité de mesure. La dose a varié de 2 à 50 charrettes avec une moyenne de 11 charrettes par hectare. Le coton reçoit en plus de la fumure organique, dans la majorité des localités, la moitié de la dose recommandée (100 kg/ha de NPKSB et 50 kg/ha d'urée). Les parcelles qui ont été fertilisées avec des engrais organiques avaient une surface comprise entre 0,25 et 12 ha avec une moyenne de 2 ha.

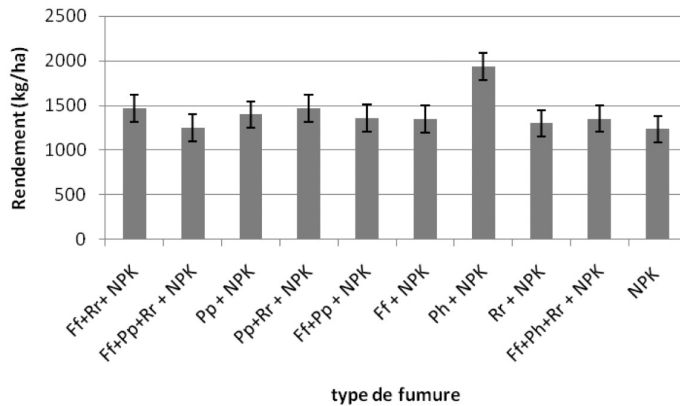
La durée de l'encadrement reçu par les producteurs est de 9 ans. Certains producteurs n'ont reçu aucun encadrement depuis qu'ils ont commencé à faire la culture de coton (Tableau 2).

**Tableau 2.** Dose de fumure organique/ha, durée de conseil agricole, surface fumée et durée de la pratique de la fumure organique.

	Minimum	Maximum	Moyenne
Dose de la fumure organique (en charrette)	2	50	10,58
Superficies en fumure organique (ha)	0,25	12	2,02
Durée des pratiques de fumure organique (année)	1	30	8,25
Durée de l'encadrement agricole (année)	0	29	9,45

### 3.2.4. Relation entre le type de fumure et le rendement coton graine

Au cours de l'enquête, les niveaux de rendement sur les deux dernières années chez chaque paysan ont été collectés. Cela a permis de mettre en relation les types de fumure utilisés et les niveaux de rendement (Figure 5). De manière générale, tous les types de fumure organique utilisés sont associés à la fumure minérale. Cette association permet une amélioration du rendement en coton graine. Les meilleurs rendements sont obtenus avec l'association du fumier de parc d'hivernage et engrais minéral (1 900 kg/ha de coton graine).



**Figure 5.** Niveau de rendement selon le type de fumure.

Légende : Ff = Fumier de fosse ; Fc = Fumier de compost ; Pp = Poudrette de parc ; Rr = Résidus de récolte ; Ph = Parc d'hivernage.

### 3.2.5. Raisons de la pratique de la fumure organique

Les raisons évoquées par les producteurs de coton pour la pratique de la fumure organique étaient l'amélioration et le maintien de la fertilité du sol sur une longue période, l'augmentation des rendements du coton et même des cultures subséquentes. Celles relatives aux coûts étaient que la fumure organique est moins onéreuse que les engrais minéraux, et que la fumure organique, en permettant de diminuer la dose de la fumure minérale, génère donc un gain financier.

### 3.2.6. Contraintes à la pratique de la fumure organique

Plusieurs contraintes limitent la pratique de la fumure organique en zone de savane cotonnière de Côte d'Ivoire.

Le nombre limité de bœufs (une à deux paires), le manque de main-d'œuvre, l'existence d'une concurrence quant à l'utilisation des résidus de récoltes soit pour l'alimentation du bétail ou pour la litière, soit pour les usages domestiques, diminuent la capacité de l'exploitant à produire du fumier. En outre, les travaux liés à la confection des fosses fumières comme compostière limitent le développement des techniques de production fumière : construction d'un abri-étable, le creusement de la fosse de maturation, la pose quotidienne de litière et l'évacuation régulière des déjections ou fumier immature de l'étable. Le paillage suivi de l'enfouissement de la biomasse n'est pas souvent réalisé par manque de la chaîne de culture attelée dans l'exploitation agricole. Le manque de canadien ne permet pas d'enfouir les résidus de récolte dans le sol avec un labour de fin de saison.

L'absence d'une charrette dans une exploitation agricole limite le transport des résidus de récolte pour l'approvisionnement des parcs en litière, le ramassage des bouses de vaches (technique de la poudrette de parc) et le transport du fumier au champ.

L'utilisation de la fumure organique entraîne dans certains cas, la pourriture des capsules (fumier de fosse) et/ou l'enherbement massif des parcelles cotonnières qui n'est pas souvent maîtrisé par les herbicides utilisés en culture cotonnière (poudrette de parc).

## 4. Discussion

Les innovations introduites chez les paysans pour la production de la fumure organique sont le compostage, les étables fumières, le parc d'hivernage et la restitution des résidus de récolte. Ces technologies visent l'amélioration des techniques endogènes de production de la matière organique et la valorisation des résidus de récolte. Elles ont été développées comme techniques d'appoint à l'introduction de la culture attelée et à l'intensification de la culture de coton. Cette approche ivoirienne est aussi signalée dans toute la sous-région ouest-africaine (Dugué, 1995).

L'amendement des sols nécessite des quantités importantes de matière organique; en conséquence les exploitants agricoles ont recours à plusieurs pratiques simultanément pour gérer la fertilité de leurs terres. Les pratiques les plus courantes dans les combinaisons sont les fosses fumières, la poudrette de parc et les résidus de récolte. Cette dernière pratique apparaît dans la majeure partie des combinaisons car elle est systématique dans les zones à forte pression foncière. Plusieurs auteurs ont observé cette tendance à l'utilisation des résidus de récolte dans la sous-région (Pieri, 1989; McIntire et al., 1992).

L'unité de mesure de la fumure organique la plus utilisée, a été la charrette qui équivaut à une capacité d'environ 500 kg. La dose moyenne utilisée par les producteurs de coton est de 11 charrettes par hectare soit environ 5 500 kg de fumier par hectare. Cette dose moyenne est proche de la dose recommandée par les structures d'encadrement qui est de 12 chargements de charrettes/ha soit environ 6 tonnes de fumier par ha. Cette dose est similaire à celle utilisée en Afrique de l'Ouest. Les engrais minéraux complètent le fumier appliqué sur les parcelles de coton. Cet apport constitue une pratique pour tous les producteurs de la zone de savane. Ce comportement est observé chez les cotonculteurs de la sous-région (Djenontin et al., 2003b, Amidou et al., 2003).

La transformation des résidus de récolte en compost ou en fumier est limitée aux exploitations disposant d'une charrette ou dont les champs sont proches des lieux de production des fumures. Le transport des résidus du lieu de production de la fumure organique et jusqu'au champ, constitue un handicap important surtout quand l'exploitation ne dispose pas d'une main-d'œuvre familiale suffisante. Cela a été observé aussi au Nord-Bénin (Djenontin et al., 2003a). Les exploitants agricoles ont installé les parcs proches des lieux d'utilisation du fumier (matière organique) et au sein de leur habitat. Djenontin et al. (2003b), Amidou et al. (2003), dans des études conduites au Bénin, ont mentionné la même pratique chez les agro-éleveurs.

La dose moyenne de fumier fluctue entre 5 et 11 t/ha de fumier. Un apport complémentaire d'engrais minéraux correspondant à la demi-dose recommandée est appliqué. D'autres études réalisées dans la sous-région font les mêmes observations (Piéri, 1989; Berger, 1996; Ganry et al., 1999).

Il avait été recommandé par les structures d'encadrement à propos de la fosse fumière, une fosse carrée de 3 m sur 3 m avec 1 m de profondeur, un muret tout autour pour empêcher l'entrée de l'eau de ruissellement (en ciment, en briques de terre ou en pierres), une ombrière au-dessus (qui peut servir au stockage de la paille), et des arrosages biquotidiens. Les paysans suivent difficilement cette accumulation de travail. Certains d'entre eux arrêtent dès la première année d'essai, ou ne suivent que très partiellement les conseils agricoles. Ces dérives observées pourraient s'expliquer par la faiblesse de l'encadrement assuré par les sociétés cotonnières au profit des producteurs. En effet, le nombre moyen d'années d'encadrement reçu par les

producteurs est de 9 ans. Il est à noter que certains producteurs n'ont reçu aucun encadrement depuis qu'ils ont commencé à faire la culture de coton.

## 5. Conclusion

Il ressort de cette étude que les producteurs de coton de Côte d'Ivoire pratiquent de moins en moins la fertilisation organique. Les nouvelles technologies (la fosse compostière, la fosse fumière, les résidus de récolte et le parc d'hivernage) vulgarisées par les structures d'encadrement sont peu adoptées. La confection des fosses, le transport de la litière et du fumier, le manque de bétail et l'enherbement excessif sont, entre autres, les principaux freins à leur adoption.

Il faudrait donc développer des modèles qui tiennent compte des systèmes de production en cours, en trouvant des solutions adéquates aux problèmes de transport, de production de fumier, d'enherbement massif et de sédentarisation des exploitations.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'Association de Producteurs de Coton Africains (AProCA) qui a financé cette étude à travers le projet «étude de capitalisation des pratiques en cours en fumures organiques dans la zone cotonnière de Côte d'Ivoire».

## Bibliographie

- Amidou M., Djenontin A.J., Wennink B., 2003. Utilisation du fumier produit dans les parcs de stabulation pour améliorer le rendement des exploitations agricoles au Nord Bénin. In : Jamin J.Y., Seiny Boukar L., Floret C. (eds). *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun*. Prasac, N'Djamena, Tchad/Cirad, Montpellier, France.
- Berger M., 1996. L'amélioration de la fumure organique en Afrique soudano-sahélienne. *Agriculture et développement*. Numéro hors série.
- Djenontin A.J., Amidou M., Baco N.M., Wennink B., 2003. Valorisation des résidus de récolte dans l'exploitation agricole au nord du Bénin. Production de fumier et enfouissement des résidus de récolte pour la gestion de la fertilité des sols. In : Dugue P., Jouve Ph. (eds). *Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux. Actes du colloque international, 25-27 février 2003, Montpellier, France*. CNEARC-SAGERT, Montpellier, France.
- Djenontin A.J., Wennink B., Dagbenongbakin G., 2003. Pratique de gestion de fertilité dans les exploitations agricoles au Nord-Bénin. In : Jamin J.Y., Seiny Boukar L., Floret C. (eds). *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun*. Prasac, N'Djamena, Tchad/Cirad, Montpellier, France.
- Dugué P., 1995. Amélioration de la production et de l'utilisation de la fumure organique animale en zone cotonnière du Nord-Cameroun : résultats préliminaires. *Agricultural Systems in Africa*, **5**(2), 5-15.
- Ganry F., Sanogo Z.I., Gigou J., Olivier R., 1999. Intensification du système coton-sorgho fondé sur le fumier et la gestion optimale de la fertilisation au Mali. In : Floret C., Pontanier R. (eds). *La jachère en Afrique tropicale : rôles, aménagement, alternatives. Actes du séminaire international, Dakar, 13-16 avril 1999*. John Libbey Eurotext, Paris, p. 142-148.
- McIntire J., Bourzat D., Pingali P., 1992. *Crop - livestock interactions in sub-saharan Africa*. The World Bank, Washington DC.
- Pieri C., 1989. *Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au sud du Sahara*. Ministère de la Coopération, CIRAD/IRAT, Paris, 444 p.



## Effet du zaï amélioré sur la productivité du sorgho en zone sahélienne

Bayen Philippe, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, E-mail : phbayen@yahoo.fr  
 Traore Salif, Bognounou Fidèle, Thiombiano Adjima, Université de Ouagadougou, Burkina Faso  
 Kaiser Dorkas, University of Würzburg, Germany, E-mail : dorkas.kaiser@biozentrum.uni-wuerzburg.de

### Résumé

La présente étude a pour objectif de montrer qu'en combinant la gestion de l'eau et de la matière organique avec la technique de zaï de restauration des sols, on peut assurer une meilleure production des cultures sur les sols dégradés. Dans ce cadre, un dispositif expérimental en blocs de Fischer randomisés a été utilisé pour tester la capacité de germination, la croissance et le rendement du sorgho sur les sols dégradés en fonction de la taille des poquets et des amendements organiques. En se basant sur les différents niveaux de ces deux facteurs, ce dispositif est constitué de 32 parcelles élémentaires représentant 8 traitements factoriels ( $2 \times 4$ ) et 4 répétitions. Les résultats montrent un effet significatif de la taille des poquets et du type d'amendement sur la germination, la croissance et le rendement du sorgho. Le rendement en grains varie entre  $383,10 \pm 32,13$  kg/ha dans les grands poquets de zaï + compost à  $5,77 \pm 1,90$  kg/ha dans les petits poquets de zaï sans amendement. Les grands poquets augmentent les rendements en grains surtout au niveau des traitements zaï + compost dont ils améliorent significativement les rendements de 25 % par rapport aux petits poquets. La technique du zaï avec les grands poquets associée à l'amendement du compost peut donc permettre une production soutenue de la culture sur des terres dégradées en zone sahélienne.

### How improved zaï techniques affect sorghum production in the Sahelian area of Burkina Faso

The issue of soil degradation represents a major challenge in Sub-Saharan Africa. The need to remediate degraded soils to a level of functionality is crucial for the local communities in areas affected by desertification, and will help in the fight against famine and poverty. The aim was to demonstrate that a combination of water management with organic materials and the zaï technique can result in better crop yields from degraded soils. For this purpose, a random block experimental design of Fisher was used to test the germination capacity, the growth and the yield of sorghum on degraded land following zaï hole size and organic input. Based on the various treatments, this design comprises 32 plots accounting for eight factorial treatments ( $2 \times 4$ ) in four replications. The outcomes showed that the hole sizes and type of enrichment material had a significant ( $P < 0.001$ ) impact on sorghum germination and yields. The grain yields varied from  $383.10 \pm 32.13$  kg/ha in the large zaï holes + compost manure, to  $5.77 \pm 1.90$  kg/ha in the small zaï holes without compost manure. The zaï technique with large holes combined with compost manure can therefore allow for crops to be grown sustainably on degraded land in the Sahelian area.

## 1. Introduction

La sécheresse est l'un des facteurs principaux limitant la production agricole et forestière dans les zones arides et semi-arides de l'Afrique de l'Ouest (Van Keulen, Breman, 1990). Dans ces zones arides et semi-arides, les sols et les terres arables subissent de plus en plus l'érosion et la disparition de la végétation (Thevoz, 1997). Cependant l'exploitation des ressources naturelles dans ces zones au cours des dernières décennies s'est intensifiée avec la croissance démographique. Les conséquences résultant de cet état de fait sont une disparition progressive de la végétation et une dégradation physique, biologique et chimique des sols, ce qui aboutit à l'apparition et l'extension des sols dénudés appelés « zippelés ».



Dans la province du Yatenga, région située au nord du Burkina Faso, les conditions climatiques précaires, la pression démographique et l'état de pauvreté accrue des sols ne permettent plus un maintien de l'équilibre entre l'exploitation faite par l'homme des ressources naturelles et leur régénération dans le temps et dans l'espace. Cela signifie que l'insuffisance d'eau et de nutriments sont les principaux facteurs limitant la croissance des cultures (Stroosnijder, 1996).

Dans ce contexte d'indisponibilité croissante des terres cultivables, la restauration de ces écosystèmes dégradés constitue à la fois un important levier pour la réduction de la pauvreté par l'amélioration des revenus des familles rurales fortement dépendantes de l'état de ces ressources mais aussi un enjeu en termes de préservation de la biodiversité et des ressources naturelles.

Au regard de l'augmentation des superficies des terres dégradées dans la région nord du Burkina Faso, de nombreux travaux de recherche ont été menés (Kaboré, 1995; Zougmore et al., 1999; Sawadogo, 2006; Sawadogo et al., 2008) sur divers aspects de la gestion des sols comme la productivité, la fertilisation organique et phosphatée, la conservation et la restauration des sols.

Dans le souci de trouver des solutions à la portée des paysans nous avons choisi d'étudier le zaï. C'est une forme particulière de culture en poquets concentrant les eaux de ruissellement et les matières organiques dans un micro bassin (Roose et al., 1993). L'avantage d'une technologie locale comme le zaï est qu'au-delà de ses performances agronomiques, elle est facilement adoptée par les petits producteurs (Sawadogo, 2001).

Notre étude s'inscrit dans le cadre des préoccupations du monde rural sur la dégradation des ressources naturelles. L'objectif global de cette étude est d'évaluer l'impact du zaï et des amendements sur la restauration de la productivité agricole des sols dégradés. Les objectifs spécifiques sont d'évaluer les effets des dimensions des poquets sur la capacité de collecte d'eau dans la technique du zaï et d'évaluer l'effet des amendements sur la croissance et les rendements du sorgho.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Site expérimental

Le site expérimental est situé au nord du Burkina Faso dans la province du Yatenga (Figure 1). Le climat de type soudano-sahélien est marqué par une longue saison sèche dont l'aridité est accentuée par l'harmattan, vent sec provenant du Sahara. Le régime climatique de cette localité est caractérisé par une pluviométrie annuelle variant entre 575,10 et 983,40 mm avec une saison humide de 3 à 4 mois. La courte saison des pluies (de juin à septembre) connaît de fortes variations dans le temps et dans l'espace. La moyenne des pluviométries annuelles des 28 dernières années (1980 à 2009) est de l'ordre de 628,18 mm pour la station de Ouahigouya. Au-delà des quantités d'eau recueillies, c'est bien plus la répartition spatiale et temporelle qui détermine la qualité de la saison agricole, ce qui a des conséquences directes non seulement sur la croissance et le développement des cultures mais surtout sur les rendements agricoles. Pendant cette période agricole, les températures oscillent entre 22,2 et 39 °C. Les sols du site d'études sont de type ferrugineux tropical lessivé ou luvisol très dégradé présentant des états de surfaces érodés et gravillonnaires (Casenave, Valentin, 1989). Ils présentent une texture sablo-argileuse avec un pH acide (4,20) et sont pauvres en matière organique (0,3%).

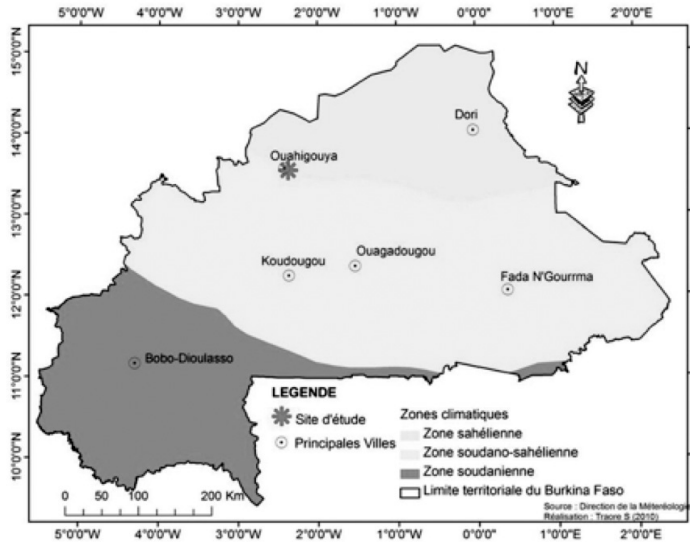


Figure 1. Carte de localisation du site d'étude.

## 2.2. Matériel expérimental

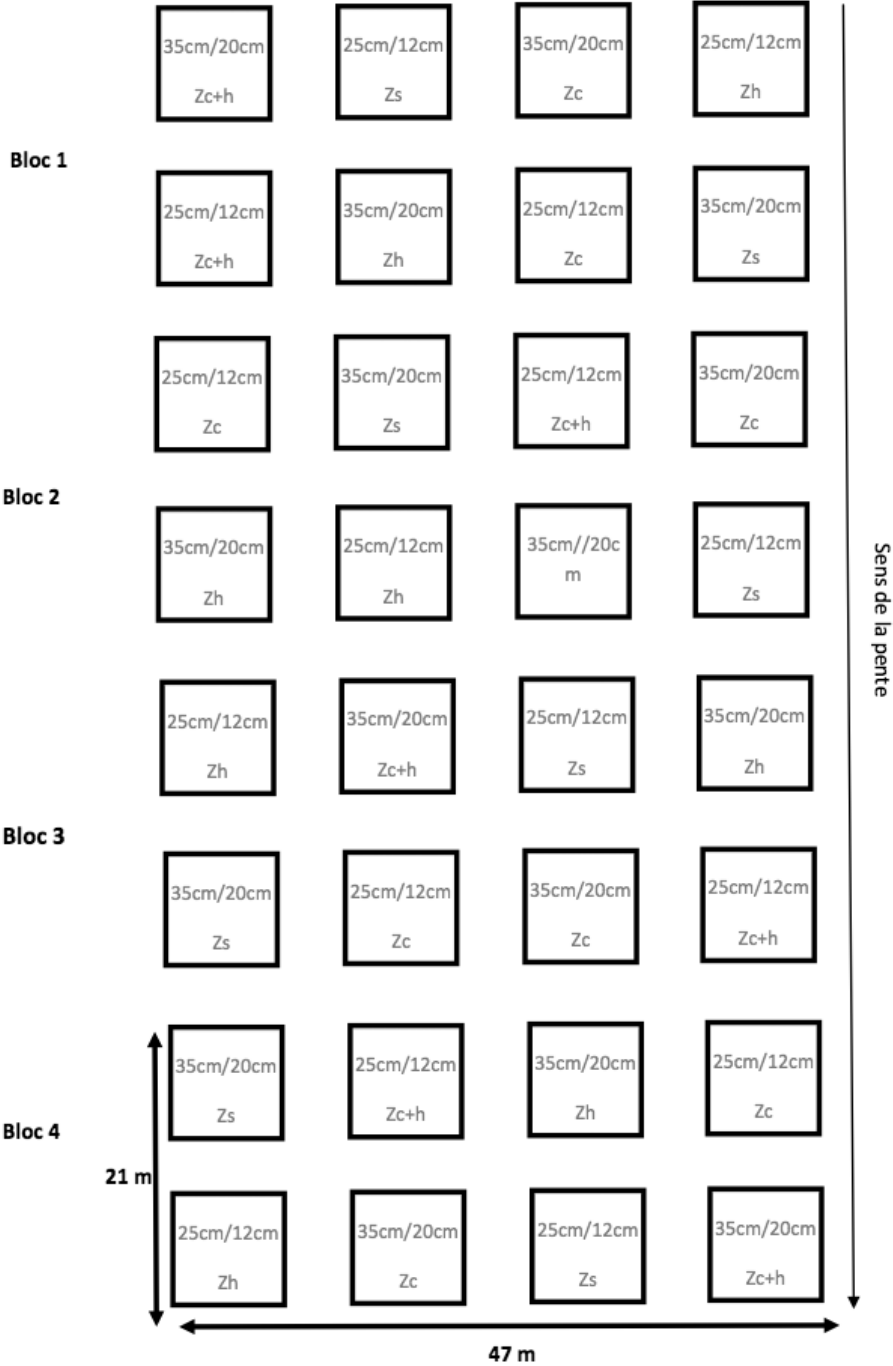
Le matériel végétal utilisé est le sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), variété améliorée Sarioso 11 (Synonymes : CEF 382/2-1-1) vulgarisée pour ses grandes potentialités agronomiques en zone soudano-sahélienne. C'est une variété à tige réduite (en moyenne 2 m de haut), à grains blancs, avec un cycle semis-maturité de 100 à 105 jours. Les rendements potentiels sont estimés à 3-4 t/ha. Les substrats fertilisants utilisés dans les poquets de zaï sont le compost et la paille de graminées. Le compost employé provient de déjections animales mélangées à la paille de *Loudetia togoensis* et accumulées dans une fosse compostière. Les caractéristiques des substrats organiques utilisés dans les traitements sont mentionnées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des substrats organiques utilisés dans les traitements.

Substrats organiques	Carbone %	Azote %	Phosphore ( $P_2O_5$ ) %	Potassium ( $K_2O$ ) %
Compost	25,75	1,21	0,29	0,85
Herbe	93,5	0,29	0,65	1,41

## 2.3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est constitué de 4 blocs de Fischer (21 m × 47 m) complètement randomisés comportant 8 traitements factoriels (2 × 4) avec 4 répétitions correspondant au total à 32 parcelles élémentaires (8 m × 8 m) (Figure 2). Les allées entre les blocs ou les parcelles consécutives sont de 5 m. La répartition des traitements dans les parcelles élémentaires de chaque bloc est réalisée de façon aléatoire en combinant les dimensions des poquets et les amendements organiques. Les poquets de zaï sont de deux types : les grands poquets de dimensions 35 cm de diamètre sur 20 cm de profondeur et de petits poquets de dimensions 25 cm de diamètre sur 12 cm de profondeur (poquets standard). Chaque parcelle est constituée de 49 poquets séparés de 1 m à partir de leurs centres correspondants à 7656 poquets/hectare.



**Figure 2.** Dispositif expérimental en blocs de Fischer.  
Légende : Zs = Zaï seul, Zh = Zaï + herbe, Zc+h = Zaï + compost + herbe, Zc = Zaï + compost.

Les amendements appliqués sont de 4 types :

Zc : zaï + 460 g de compost ;

Zh : zaï + 40 g d'herbe ;

Zc + h : zaï + 230 g de compost + 20 g d'herbe ;

Zs : zaï seul sans amendements.

L'utilisation de 460 g de compost se justifie par le fait que les paysans utilisent en moyenne 460 g de compost par poquet de zaï. Compte tenu des difficultés que les paysans ont pour disposer de grandes quantités de compost, nous avons pensé à réduire de moitié la quantité de compost qu'ils introduisent dans les poquets en le compensant par de l'herbe. Ce qui justifie le choix des 230 g de compost associé à l'herbe. La quantité maximale d'herbe que chaque petit poquet de zaï peut contenir est de 40 g. Les opérations qui se sont succédé dans la mise en place de l'essai et les dates d'exécution sont présentées au tableau 2.

**Tableau 2.** Dates des opérations culturales durant la saison agricole.

Opérations	Dates
Trouaison des poquets de zaï	20 au 21 Juin
Ajout du compost et/ou de l'herbe dans les poquets de zaï	22 Juin
Semis	29 Juin
Démariage et repiquage	29 Juillet
1 <sup>er</sup> sarclage	13 Août
2 <sup>e</sup> sarclage	07 Septembre
Récolte	27 Octobre

Dans chaque poquet de zaï, 5 grains de sorgho ont été semés et trois plants de sorgho ont été laissés après le démariage. Aucun traitement phytosanitaire n'a été effectué dans le souci d'être en conformité avec la majorité des pratiques paysannes.

### 3. Collecte des données

Trois jours après les semis, le nombre de graines germées a été compté par poquet afin de déterminer la capacité de germination. Pour évaluer la croissance des plants, la hauteur de chaque individu a été mesurée hebdomadairement du collet au sommet de la dernière feuille (avant épiaison) ou de la panicule (après épiaison).

En fin de cycle, la biomasse aérienne (paille) et le poids des panicules ont été mesurés sur le terrain. Des échantillons (feuilles, tiges, panicules) ont été récoltés puis pesés pour déterminer la biomasse aérienne (paille) et le poids des panicules à l'état frais et à l'état sec après séchage à l'étuve à 80 °C pendant 96 heures.

### 4. Traitement et analyses des données

La capacité de germination, l'accroissement global et hebdomadaire des plants, la biomasse aérienne et le rendement des parcelles ont été calculés à l'aide des formules suivantes :

$$\text{Capacité de germination} = \frac{\text{Nombre de graines germées}}{\text{Nombre de graines semées}} \times 100 ;$$

$$\text{Accroissement global} = H_f - H_i$$

$$\text{Accroissement hebdomadaire} = H_{n+1} - H_n$$

$$\text{Rendement en graines (kg/ha)} = \frac{\text{Poids des graines par parcelle}}{\text{Surface de la parcelle en ha}}$$

où  $H_i$  est la hauteur initiale des plants (semaine 1),  $H_f$  est la hauteur finale des plants (semaine 9),  $H_{n+1}$  est la hauteur des plants à la semaine  $n + 1$  et  $H_n$  la hauteur des plants à la semaine  $n$ .

Les variables ont été analysées à l'aide de modèles linéaires généralisés utilisant la quasi-probabilité pénalisée avec des erreurs de type binomial. L'estimation de la quasi-probabilité pénalisée a été utilisée afin de pallier aux amplitudes de dispersion (Crawley, 2005). L'accroissement hebdomadaire et global des plants, puis le rendement de production des grains ont été analysés par le modèle linéaire. Ces données remplissent les postulats de normalité et d'homogénéité de la variance. Les variables amendements, dimensions des poquets et temps ont été traitées comme des facteurs catégoriques fixes tandis que le facteur bloc a été traité comme un facteur randomisé. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel statistique R (R Development Core Team, 2010).

## 5. Résultats

### 5.1. Effets des traitements sur la germination du sorgho

La capacité de germination des semences du sorgho varie significativement en fonction des dimensions des poquets ( $F_{[1; 1138]} = 6,12$ ;  $P = 0,013$ ) et de l'amendement ( $F_{[3; 1138]} = 41,26$ ;  $P < 0,001$ ). L'interaction entre ces deux facteurs donne également un effet significatif ( $F_{[3; 1138]} = 3,70$ ;  $P < 0,011$ ). Les grands et les petits poquets de zaï seul et zaï + compost présentent les capacités de germinations les plus élevées avec respectivement 53,98 à 62,08 % et 51,94 à 58,33 % (Figure 3). Les petits poquets de zaï + herbe + compost et les petits poquets de zaï + herbe présentent les plus faibles capacités de germination (31,11 et 27,97 %). Les traitements zaï + compost et zaï seul (sans amendement) donnent les meilleures capacités de germination. Pour un même type d'amendement, les grands poquets donnent des capacités de germinations plus importantes que les petits poquets à l'exception du traitement Zaï + compost.

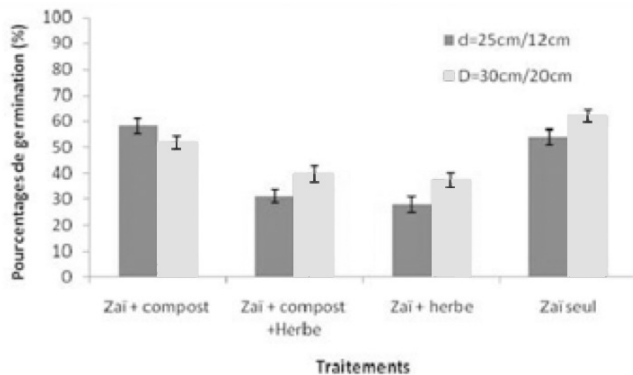
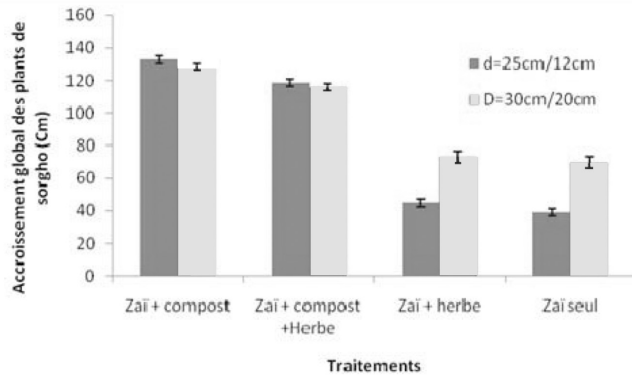


Figure 3. Capacité de germination (moyenne ± erreur standard) en fonction des traitements.

### 5.2. Effets des traitements sur la croissance des plants du sorgho

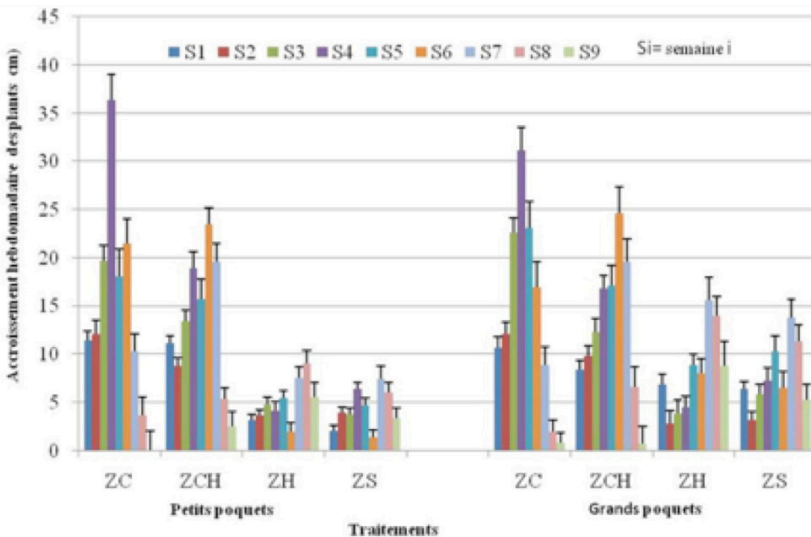
La croissance globale des plants du sorgho varie significativement en fonction des dimensions des poquets ( $F_{[1; 660]} = 37,00$ ;  $P < 0,001$ ) et de l'amendement ( $F_{[3; 660]} = 414,48$ ;  $P < 0,001$ ). L'effet de l'interaction amendements et dimensions des poquets est significatif ( $F_{[3; 660]} = 25,17$ ;  $P < 0,001$ ). Les accroissements les plus importants se rencontrent au niveau des poquets traités au zaï + compost suivis de ceux traités au zaï + compost + herbe (Figure 4). Pour ces deux types d'amendements, l'effet des dimensions des poquets n'est pas perceptible.

Par contre pour les faibles accroissements observés au niveau des traitements zaï + herbe et zaï seul, les grands poquets montrent des accroissements plus importants que les petits poquets.



**Figure 4.** Accroissement global (moyenne  $\pm$  erreur standard) des plants de sorgho en fonction des traitements.

L'accroissement hebdomadaire des plants de sorgho varie significativement en fonction de la période ( $F_{[8; 5964]} = 52,28$ ;  $P < 0,001$ ). La semaine 9 après semis offre les meilleurs accroissements dans les traitements zai + compost quelles que soient les dimensions des poquets alors que les autres traitements montrent des accroissements hebdomadaires plus élevés au cours des semaines 6-8 (Figure 5). Les effets factoriels des dimensions des poquets et des amendements sur les accroissements hebdomadaires sont significatifs (Tableau 3).



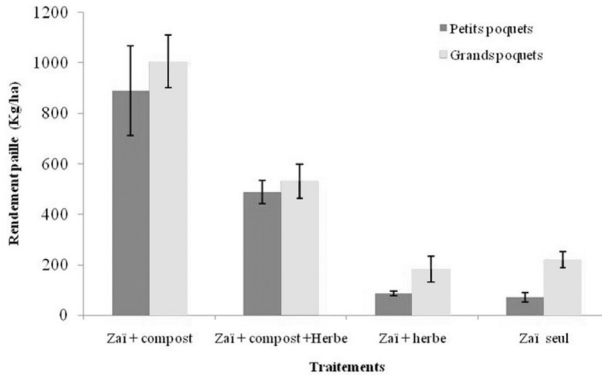
**Figure 5.** Accroissement hebdomadaire (moyenne  $\pm$  erreur standard) des plants de sorgho en fonction des traitements.

**Tableau 3.** Résumé des analyses de variance des hauteurs des plants de sorgho.

Facteurs	dl	F	P
Amendements	3	124,16	< 0,001
Dimensions des poquets	1	11,08	< 0,001
Période hebdomadaire	8	52,28	< 0,001
Amendements × Dimensions des poquets	3	7,54	< 0,001

### 5.3. Effets des traitements sur le rendement en paille du sorgho

La production de la biomasse aérienne des plants de sorgho varie significativement en fonction de l'amendement ( $F_{[3; 20]} = 42,82$ ;  $P < 0,001$ ). Les dimensions des poquets ne présentent pas d'influence significative sur la biomasse aérienne des plants ( $F_{[1; 20]} = 2,74$ ;  $P = 0,11$ ). De même, l'interaction de l'amendement et des dimensions des poquets n'a aucun effet significatif sur la biomasse aérienne des plants ( $F_{[3; 20]} = 0,16$ ;  $P = 0,92$ ). Les productions les plus importantes de paille se rencontrent au niveau des poquets traités au compost (947 kg/ha) suivis de ceux traités au compost + herbe (509 kg/ha). La quantité de biomasse aérienne produite au niveau des poquets de zaï + compost est 4 à 10 fois plus élevée que dans les poquets de zaï seul et zaï + herbe. Dans ces derniers, la production de biomasse ne dépasse guère 220 kg/ha (Figure 6).



**Figure 6.** Productivité de la biomasse aérienne (moyenne ± erreur standard) du sorgho en fonction des traitements.

### 5.4. Effets des traitements sur le rendement en grains du sorgho

Le rendement en grains du sorgho varie significativement en fonction de l'amendement ( $F_{[3; 20]} = 69,92$ ;  $P < 0,001$ ) et des dimensions des poquets ( $F_{[1; 20]} = 6,23$ ;  $P = 0,02$ ). L'interaction entre l'amendement et les dimensions des poquets n'a pas un effet significatif sur le rendement ( $F_{[3; 20]} = 0,40$ ;  $P = 0,75$ ). Le rendement en grains varie entre  $383,10 \pm 32,13$  kg/ha dans les grands poquets de zaï + compost à  $5,77 \pm 1,90$  kg/ha dans les petits poquets de zaï seul. Les rendements les plus importants se rencontrent au niveau des poquets traités au compost qui sont en moyenne 12 fois plus élevés que dans les poquets de zaï seul. Les grands poquets augmentent les rendements en grains; cette augmentation est significative au niveau des traitements zaï + compost dont les rendements dans les grands poquets sont améliorés de 25 % par rapport aux petits poquets (Figure 7). Les traitements zaï + herbe réduisent légèrement les rendements par rapport au traitement zaï seul (24,56 kg/ha contre 29,07 kg/ha).



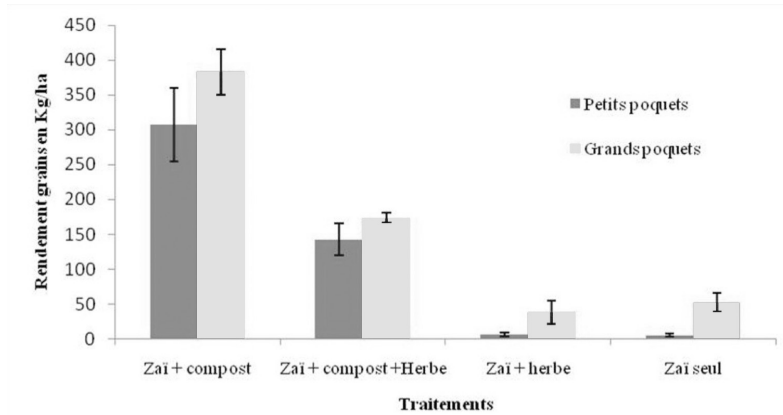


Figure 7. Rendements grains (moyenne  $\pm$  erreur standard) du sorgho en fonction des traitements.

### 5.5. Impact sur la régénération de la couverture végétale

Le tableau 4 nous donne la répartition des espèces recensées en fonction des traitements. La répartition des espèces par traitement indique une plus grande diversité des espèces et une plus grande abondance dans les traitements à forte dose de compost comparativement aux autres traitements.

Tableau 4. Répartition des espèces en fonction des traitements.

Espèce végétale	Zaï + compost	Zaï + herbe	Zaï + compost + herbe	Zaï seul
<i>Peristrophe bicalyculata</i> (Retz.) Nees	+	-	+	-
<i>Amaranthus viridis</i> L.	+	-	+	-
<i>Sclerocarya birrea</i> (A. Rich.) Hochst.	-	-	-	+
<i>Leptadenia hastata</i> (Pers.) Decne.	-	-	+	+
<i>Tamarindus indica</i> L.	-	-	+	-
<i>Cassia sieberiana</i> DC.	+	+	+	
<i>Cassia tora</i> L. var. <i>obtusifolia</i> (L.) Haines	-	+	+	+
<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	+	+	+	-
<i>Cassia siamea</i> Lam.	+	-	+	-
<i>Cleome viscosa</i> L.	+	+	-	+
<i>Guiera senegalensis</i> J.F. Gmel.	-	-	-	+
<i>Cyanothus lanata</i> Benth.	+	-	-	+
<i>Ipomea eriocarpa</i> R. Brown	+	+	+	-
<i>Cucumis melo</i> L. var. <i>agrestis</i> Naudin	+	-	-	+
<i>Fimbristylis hispidula</i> (Vahl) Kunth subsp. <i>hispidula</i>	+	+	+	+
<i>Cyperus esculentus</i> L.	+	-	-	-
<i>Phyllanthus amarus</i> Schum. & Thonn.	+	-	+	-
<i>Zornia glochidiata</i> Reichb. ex DC.	+	+	+	+
<i>Crotalaria retusa</i> L.	+	-	+	+
<i>Alysicarpus ovalifolius</i> (Schum. et Thonning) J. Léonard	-	-	+	+
<i>Alysicarpus rugosus</i> (Willd.) DC.	+	+	+	+
<i>Indigofera tinctoria</i> L.	+	-	+	+
<i>Sesbania pachycarpa</i> DC.	+	-	-	-
<i>Leucas martinicensis</i> (Jacq.) R. Br.	+	-	+	+

Espèce végétale	Zaï + compost	Zaï + herbe	Zaï + compost + herbe	Zaï seul
<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	+	-	-	-
<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. ex Del.	-	-	-	-
<i>Andropogon pseudapricus</i> Stapf.	+	+	+	+
<i>Pennisetum pedicellatum</i> Trin.	+	+	+	-
<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	-	-	+	-
<i>Portulaca oleracea</i> L.	-	-	+	-
<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	+	+	-	+
<i>Spermacoce stachydea</i> DC.	+	-	+	+
<i>Spermacoce radiata</i> (DC.) Sieber ex Hiern	+	+	+	+
<i>Borreria filifolia</i> (Schum. et Thonn.) K. Schum.	+	-	+	+
<i>Walteria indica</i> L.	+	+	+	+
<i>Corchorus tridens</i> L.				
<i>Triumphetta pentandra</i> A. Rich.	+	+	-	-
<i>Mollugo nudicaulis</i> Lam.	+	+	+	+
<i>Achyranthes aspera</i> L. var. <i>sicula</i> L.	-	-	-	-
<i>Chrysanthellum americanum</i> (L.) Vatke	-	-	-	-
<i>Commelina subulata</i> Roth.	-	-	-	-
<i>Thephrosia bracteolata</i> Guill. & Perr.	-	-	-	-
<i>Andropogon gayanus</i> Kunth var. <i>gayanus</i>	-	-	-	-

## 6. Discussion

### 6.1. Impact des traitements sur la capacité de germination

La capacité de germination d'une semence dépend des facteurs intrinsèques et extrinsèques à la semence. Nous supposons que les graines testées ont pratiquement les mêmes facteurs intrinsèques car elles proviennent d'un même centre de production semencière. La variation de la capacité de germination des semences est donc due aux facteurs extrinsèques tels que l'humidité, l'aération du sol.

Les sols dénudés (zippelés) sont, en général, caractérisés par leur imperméabilité. Il se développe sur ces sols une pellicule de battance qui entraîne une faible aération des horizons sous-jacents tassés. La trouaison des poquets fait disparaître la croûte de battance et rétablit l'aération du sol. La rétention de l'eau dans les poquets permet son infiltration et augmente l'humidité du sol indispensable pour la germination. La capacité de germination varie en fonction des dimensions des poquets. Elle est plus importante dans les grands poquets sauf au niveau des grands poquets enrichis au compost. En effet, les grands poquets recueillent plus d'eau et gardent aussi l'humidité plus longtemps à cause de leur volume. Sawadogo (1993) a montré que la capacité de germination augmente en fonction de l'accroissement de l'humidité du sol. Mais lorsque l'humidité est prolongée, elle pourrait provoquer la pourriture de certains grains. Le compost améliorerait la capacité de rétention en eau des poquets. Cela expliquerait le fait que la capacité de germination soit moins importante au niveau des grands poquets traités au compost. Le traitement avec l'herbe réduit également la capacité de germination des grains par rapport au zaï sans amendement. En effet l'herbe introduite dans les poquets pourrait attirer les termites qui s'attaquent aussi aux grains réduisant ainsi leur capacité de germination.

## 6.2. Impact des traitements sur la croissance des plants de sorgho

L'accroissement des plants de sorgho dépend des dimensions des poquets et des amendements. Cela s'explique par la minéralisation du compost introduit dans les poquets qui augmente la disponibilité des éléments nutritifs nécessaires à la croissance de la plante. L'apport de compost à forte dose induit à toutes les dates de mesure une croissance caulinaire supérieure aux aménagements à faible dose de compost et ceux sans apport de compost ce qui signifie qu'en plus de l'amélioration de la structure et du régime hydrique du sol, la présence des éléments nutritifs est aussi un facteur important pour la croissance des cultures.

La cuvette de zaï seule permet de collecter l'eau mais ne dispose pas suffisamment d'éléments indispensables au bon développement du sorgho. L'apport de matières organiques dans les cuvettes entraîne un regain des activités biologiques du sol : croissance des plantules qui profitent de la minéralisation de la fumure organique apportée, perforation de la croûte par les termites, et partant, une amélioration de la structure du sol (Mando, 1997).

## 6.3. Impact des traitements sur les rendements du sorgho

Le rendement constitue l'expression matérielle de la nutrition hydrique et minérale du sorgho (Sangaré, 2002). C'est le paramètre le plus en vue pour exprimer la performance des techniques de production (Sangaré, 2002).

La production de biomasse aérienne (paille) et de grains varie significativement en fonction des amendements appliqués. À cet effet, la production de paille et de grains est importante dans les traitements de zaï avec compost suivis de ceux de zaï associant moitié compost et moitié herbe. Les faibles productions de paille et de grains ont été enregistrées dans les traitements zaï associant l'herbe et ceux du zaï seul. Le fait de creuser les poquets a conduit à une meilleure infiltration de l'eau dans le sol et à une meilleure alimentation hydrique permettant de valoriser les réserves minérales du zippélé et de donner une possibilité de récolte. Ce résultat démontre l'intérêt de la technique du zaï comme un ouvrage de conservation des eaux et des sols efficace dans la gestion du ruissellement (Kaboré, 1995). Le simple fait d'améliorer la disponibilité en eau en cassant la croûte superficielle du sol ne semble pas entraîner une augmentation de la production du sorgho ; ce qui signifie que la dégradation du site d'expérimentation n'est pas seulement physique et que la contrainte hydrique n'est pas la seule responsable de la faible production. En effet, la levée de la contrainte physique améliore les conditions hydriques mais laisse apparaître d'autres contraintes majeures qui seraient liées à la pauvreté chimique et biologique du sol. Maximiser l'utilisation des eaux pluviales n'est que faiblement bénéfique si la déficience du sol en nutriments n'est pas corrigée (Roose, 1994). On note à cet effet que les rendements en paille comme en grains augmentent de façon significative lorsqu'on apporte du compost. L'apport d'herbe seule dans les poquets donne des rendements similaires à ceux obtenus avec le zaï sans amendement. Ces résultats confirment ceux de Kaboré (1995) et Zombré et al. (2000) qui ont constaté que le zaï avec enfouissement de paille n'a pas d'effet sur la production du sorgho sur les sols dégradés. En effet, la paille enfouie dans les poquets ne se décompose pas à temps pour rendre les éléments minéraux disponibles pour les plantes. Ce résultat pourrait s'expliquer aussi par une situation de carence en azote due à la concurrence pour cet élément provoquée par les micro-organismes qui utilisent l'azote disponible pour leur multiplication. Les travaux de Zougmore et al. (1999) ont montré qu'en décomposant la paille, les micro-organismes utilisent des éléments minéraux tels que l'azote ; ce qui peut conduire à une immobilisation momentanée ou à une faim d'azote dans le sol qui limite le développement et la production des cultures. Les faibles rendements au niveau des traitements de zaï avec l'herbe pourraient également s'expliquer par une faible activité biologique au niveau du sol pour décomposer la paille en éléments nutritifs directement utilisables par les cultures.

Pour un même amendement, les rendements en paille et en grains varient en fonction des dimensions des poquets. Ils sont plus élevés dans les grands poquets que dans les petits poquets. Ce résultat s'explique par le fait que les grands poquets recueillent plus d'eau de ruissellement que les petits à cause de leur largeur et gardent l'humidité du sol pendant longtemps à cause de leur profondeur. La quantité de matière fine apportée par l'eau de ruissellement et le vent est plus élevée dans les grands poquets que celle apportée dans les petits poquets. Les traitements qui ont connu un développement végétatif important ont donné les meilleurs rendements en paille et en grains. Ce constat respecte approximativement la corrélation entre la croissance de l'appareil végétatif et le rendement du sorgho établie par Zangré (2000) et qui indique que les faibles rendements de grains du sorgho sont dus à une faible croissance de l'appareil végétatif durant la période semis-floraison. Les forts rendements en paille et en grains ont été obtenus dans les traitements au compost. Cette augmentation significative des rendements est liée à l'action fondamentale de la matière organique résumée par Pieri (1989) en trois rôles essentiels : 1) elle stimule la formation des racines de la culture ; 2) elle est un agent majeur pour la stabilité de la structure du sol ; 3) elle a une influence directe sur la nutrition de la plante et sur les propriétés physico-chimiques du sol due à sa minéralisation et son importance dans la dynamique de l'azote (N). Selon Sedogo (1993), l'incidence de la matière organique sur les performances du sorgho serait liée à l'amélioration des propriétés physico-chimique et biologique du sol qu'elle engendre. Quant à Zangré (2000), il a montré qu'il existe une forte corrélation entre la quantité de matière organique du sol, le temps d'imbibition, la teneur en carbone du sol, la biomasse microbienne et le rendement. D'où l'intérêt d'un apport conséquent de matière organique si l'on veut maintenir un équilibre physico-chimique et biologique du sol qui favorise un développement rapide des cultures.

#### 6.4. Impact sur la régénération de la couverture végétale

La pratique du zaï a une influence profonde sur la restauration de la couverture végétale des terres dénudées (zippelés). Les résultats de cette étude indiquent que les espèces sont essentiellement des herbacées avec quelques ligneux. La répartition des espèces par traitement indique une plus grande diversité des espèces et une plus grande abondance dans les traitements à forte dose de compost comparativement aux autres traitements. Cette reprise de la végétation serait due à l'amélioration des conditions du milieu occasionnée par les aménagements qui brisent la croûte imperméable afin d'ameublir le lit des semences et d'augmenter la disponibilité en eau du sol. C'est ce facteur qui serait essentiellement responsable de la recolonisation des milieux par la végétation. Pour Hien (1995), l'apparition et l'évolution spatiale du couvert végétal dans un site dépendent des mesures physiques et biologiques prises en vue d'y améliorer la structure et d'accroître l'infiltration. De nombreux auteurs considèrent effectivement que la nature, l'état physique et le régime hydrique du sol conditionnent l'installation de la végétation sur les terres dégradées (Pieri, 1989 ; Hien, 1995). Les espèces qui recolonisent naturellement ces zones proviendraient essentiellement des environs immédiats du site ou seraient présentes sur le site avant les aménagements mais ne pouvaient germer faute de conditions favorables. Les semences seraient disséminées par le vent (anémochorie), l'eau (hydrochorie) et les animaux (zoochorie). Les poquets constituent des pièges qui retiennent les semences et favorisent leur germination dans de bonnes conditions. Certaines semences sont aussi contenues dans l'amendement organique apporté dans les poquets. Selon Hien (1995), l'apparition et l'évolution spatiale du couvert végétal sur un site dégradé dépendent des mesures physiques et biologiques en vue d'améliorer la structure et d'accroître l'infiltration. L'apparition de la végétation sur les parcelles creusées sans apport d'amendements confirme le caractère physique et hydrodynamique de la dégradation qui affecte les sols et par conséquent l'efficacité du travail du sol. Selon Roose et al. (1995), l'utilisation du zaï pourrait permettre à long terme de reboiser des zones nues à travers sa composante forestière. Dans les parcelles à forte dose de compost, on note un important recru de

la végétation. Cette performance de la végétation est une réponse à l'effet des aménagements sur l'amélioration de la structure du sol, la disponibilité en eau et des nutriments dans le sol (Mando et al., 2001).

## 7. Conclusion

Le suivi du développement du sorgho et sa production ont montré que la pratique du zaï permet de restaurer le potentiel de production d'un sol dégradé. Cette restauration des sols dégradés nécessite en premier lieu d'améliorer l'infiltration de l'eau dans le sol et en second lieu d'améliorer la disponibilité en éléments fertilisants d'origine organique (compost). La levée de la contrainte hydrique, en brisant la croûte imperméable du sol, favorise la germination des semences mais n'est pas une condition suffisante pour une bonne croissance et une bonne production du sorgho. Cette contrainte est levée avec l'apport de matières organiques (compost et/ou herbe). Il ressort également de notre étude que les rendements de la production du sorgho par la technique du zaï dépendent principalement des dimensions des poquets, de la qualité et la quantité de l'amendement. Les rendements en grains du sorgho varient en fonction du développement de l'appareil végétatif. Les traitements qui ont connu un important développement de l'appareil végétatif ont donné les meilleurs rendements en grains. Ainsi, pour une meilleure valorisation de la technique du zaï, il est nécessaire de creuser des poquets plus larges et profonds et de disposer du compost en quantité et de bonne qualité. La pratique du zaï peut être une méthode efficace de restauration de la productivité des terres dénudées lorsqu'elle est combinée d'apports d'amendements organiques et/ou minéraux nécessaires à la croissance des cultures.

## Remerciements

Nous remercions le projet BIOTA (Biodiversity Monitoring and Transect Analysis) qui a entièrement financé cette étude.

## Bibliographie

- Casenave A., Valentin C., 1989. *Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration*. Collection didactique, ORSTOM, Paris, 230 p.
- Crawley M.J., 2005. *Statistics: An introduction using R*. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 327 p.
- Hien F.G., 1995. *La régénération de l'espace sylvo-pastoral au Sahel : une étude de l'effet des mesures de conservation des eaux et des sols au Burkina Faso. Document sur la gestion des ressources tropicales*. Université Agronomique de Wageningen, Wageningen, Pays-Bas, 19 p.
- Kaboré V.S., 1995. *Amélioration de la production végétale des sols dégradés (zippella) du Burkina Faso par la technique des poquets (zaï)*. Thèse es-sciences n° 1302 (1994). École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse), 187 p.
- Mando A., 1997. *The role of termites and mulch in the rehabilitation of crusted sahelian soil, tropical resources management*. Thesis, Wageningen Agriculture University (The Netherlands), 101 p.
- Mando A., Zougmore R., Zombré N.P., Hien V., 2001. Réhabilitation des sols dégradés dans les zones semi-arides de l'Afrique subsaharienne. In : Floret C., Pontanier R. (eds). *La jachère en Afrique tropicale. Vol. 2 : De la jachère naturelle à la jachère améliorée*. John Libbey Eurotext, Paris, p. 311-339.
- Pieri C., 1989. *Fertilité des savanes. Bilan de trente ans de recherches et de développement agricole au sud du Sahara*. Ministère de la coopération, Paris/CIRAD, Montpellier, France, 444 p.
- R Development Core Team, 2010. *R. A language and environment for statistical computing*. R

Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

- Roose E., Kaboré V., Guemat C., 1993. Fonctionnement, limites et améliorations d'une pratique culturale africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso). *Cahiers ORSTOM, série pédologie*, **28**(2), 159-173.
- Roose E., 1994. *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de fertilité des sols (GCES)*. Bulletin Pédologique, 70, FAO, Rome. 420 p.
- Roose E., Kaboré V., Guemat C., 1995. Le zaï, une technique traditionnelle africaine de réhabilitation des terres dégradées de la région soudano-sahélienne (Burkina Faso). In : Pontanier R., M'Hiri A., Akrimi N., Arronson J., Folche I.E. (eds). *L'homme peut-il refaire ce qu'il a dé fait*. John Libbey Eurotext, Paris, p. 249-265.
- Sangaré S., 2002. *Evaluation des performances agro-écologiques des techniques de lutte contre la désertification dans les provinces du Passoré et du Yatenga. Cas du zaï, de la demi-lune et du tapis herbacé*. Mémoire de fin d'études. Université polytechnique du Bodo Diolasso, IDR, 84 p.
- Sawadogo H., Bock L., Lacroix D., Zombré N.P., 2008. Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso). *Biotechnologie, Agronomie, Société, Environnement*, **12**(3), 279-290.
- Sawadogo H., 2001. *Gestion de la matière organique et récupération des potentialités de sols dégradés en milieu soudano-sahélien du Burkina Faso*. Mémoire de fin d'études. Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux (Belgique).
- Sawadogo H., 2006. *Fertilisation organique et phosphatée en système de culture zaï en milieu soudano-sahélien du Burkina Faso*. Thèse de doctorat. Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique.
- Sawadogo Y., 1993. *Evaluation de l'impact agronomique des digues filtrantes : dynamique de l'eau, comportement et rendement des cultures*. Mémoire IDR, Burkina Faso, 114 p.
- Sedogo P.M., 1993. *Évolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité*. Thèse de doctorat. Université de Cocody (Côte d'Ivoire), 285 p.
- Stroosnijder L., 1996. Modeling the effect of grazing on infiltration, runoff and primary production in the Sahel. *Ecological Modelling*, **92**, 79-88.
- Thevoz C., 1997. *Le zaï ou les limites d'une stratégie de mise en culture des sols dégradés au Burkina Faso dans la sécurité alimentaire en question : dilemmes, constats et controverses*. Karthala, Paris, 217-229.
- Van Keulen H., Breman H., 1990. Agriculture development in the West African sahelian region: a cure against land hanger. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **32**, 177-197.
- Zangré B.V.C.A., 2000. *Effets combinés du travail du sol et des amendements organiques sur la fertilité d'un sol ferrugineux tropical lessivé dans la région de Saria (zone centre du Burkina Faso)*, Mémoire de fin d'études IDR, Burkina Faso, 83 p.
- Zombré N.P., Mando A., Ilboudo J.B., 2000. Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur la restauration des jachères très dégradées au Burkina Faso. In : Floret Ch., Pontanier R. (eds). *La jachère en Afrique tropicale*. John Libbey Eurotext, Paris, 771-777.
- Zougmore R., Zida Z., Kambou F. N., 1999. Réhabilitation des sols dégradés : rôles des amendements dans le succès des techniques de demi-lune et de zaï au Sahel. *Bulletin Réseau Érosion*, **19**, 436-450.

## Productivité du coton et du sorgho dans un système agroforestier à karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn) au Nord Bénin

Gnanglè C.P., Aïhou K., Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Savè,

E-mail : gnampaces@yahoo.fr

Gbemavo D.S.J.C., Glèlè Kakaï R., Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin

Sokpon N., Université de Parakou, Bénin

### Résumé

La productivité du coton et du sorgho dans le système agroforestier à karité a été évaluée dans le Nord Bénin. Les villages de Tomboutou et de Gounarou ont été choisis respectivement dans les parcs à karité de Bembèrèkè et de Kandi pour abriter cette étude. Au sein de chaque parc et par village d'étude, trois classes de diamètre houppier des arbres de karité à savoir 4-8 m ; 8-10 m et > 10 m, ont été retenues après la phase d'inventaire. Dans chaque classe de diamètre houppier, trois arbres associés aux cultures de coton ou de sorgho sont choisis au hasard dans chacun des deux terroirs villageois au sein de 18 à 21 exploitations agricoles. Les cultures en association ont été mises en place selon les itinéraires techniques du service national de la vulgarisation agricole. Les données à savoir : hauteur des plants de sorgho et de coton, biomasse fraîche par culture, nombre de capsules par poquet, ont été collectées sur une surface élémentaire de 1 m<sup>2</sup> sous houppier et hors houppier, ceci dans les quatre directions cardinales de chaque arbre échantillon. Une analyse économique a été menée pour comparer le revenu du karité par rapport à la productivité du coton. L'analyse des données a révélé une différence très significative des variables (hauteur du sorgho et du coton, biomasse du coton et du sorgho, nombre de capsules de coton) entre les placettes sous houppier et hors houppier ( $P < 0,05$ ). Les paramètres de productivité du sorgho à savoir la hauteur moyenne des plants et la biomasse fraîche moyenne sont réduites sous la couronne du karité respectivement de 9,74% et de 29,31%. Les cotonniers sous couronne du karité diminuent en moyenne en hauteur de 6,59% comparativement à ceux hors couronne. La production capsulaire moyenne et la biomasse fraîche moyenne des plants de coton sont en baisse respectivement de 12,97% et 36,68% sous couronne du karité dans les parcs à karité. Il ressort de l'analyse économique qu'un exploitant perd en moyenne 16 900 Fcfa par an en associant le cotonnier à l'arbre à karité. L'optimum sera de cultiver le coton hors-houppier et d'associer une autre culture tolérant de l'ombrage de l'arbre à karité.

### Abstract

The assessing of cotton and sorghum productivity in agroforestry system associated with shea trees was done in North Benin. Tomboutou and Gounarou villages were respectively selected in the shea parklands of Bembèrèkè and Kandi. Within each park and per village, three classes of shea tree diameter 4-8 m ; 8-10 m and > 10 m, were retained after the inventory. In each class of diameter, three trees associated with the cotton or sorghum is randomly selected per village in at totally 18 to 21 farms. The associated crops layout was done according to the national extension service technical methods. Crops height, fresh biomass per crop, buds per cotton plant were collected on an elementary area of 1 m<sup>2</sup> under crown and outside crown, in the four cardinal directions of each sample tree.

Data analysis revealed a very significant difference of the variables (sorghum and cotton height, fresh biomass of cotton and sorghum, number of cotton buds) between the small squares under the crown and outside the crown ( $P < 0.05$ ). Sorghum productivity are reduced under the crown of shea tree respectively of 9.75% and 29.31%. Cotton plants height decreases from under crown of shea tree to outside the crown with 6.59. Cotton buds mean production and fresh mean biomass are decreased respectively by 13.06 % and 36.06 % under the crown of the shea tree in the parklands. Economic analysis shows that a farmer loses 16,900 Fcfa when he cultivates shea tree in association with cotton. Then the optimum is to cultivate cotton out-crown and associate another crop which tolerates shea tree crown.



## 1. Introduction

La présence des arbres au milieu des zones de cultures crée des paysages appelés parcs ou “paysages agro-sylvicoles” (Zomboudré et al., 2005). L’intérêt de l’intégration de l’arbre dans les systèmes de production par les paysans a été souligné par Maiga (1987) et Kater (1992). Le parc à karité permet de maintenir la fertilité des terres et la durabilité des systèmes de culture (Traoré, 2003). Au Bénin, du Nord au Sud, on rencontre des associations karité et cultures encore appelées parc à karité (Gnanglé, 2005). Les effets de l’arbre du karité sur les cultures en association semblent être contradictoires. Selon les auteurs, dans la zone d’influence de l’arbre, les rendements des cultures sont meilleurs (Zomboudré et al., 2005) ou réduits (Kessler, 1992; Gbemavo et al., 2010). L’association de la culture du cotonnier, du sorgho et du karité constitue l’un des systèmes agricoles répandu au nord du Bénin (Agbahungba, Depommier, 1989). La culture du cotonnier et l’amande de karité contribuent au budget national du Bénin et occupent respectivement la première et la troisième position parmi les produits d’exportation. Le sorgho contribue à la sécurité alimentaire des populations et constitue l’une des céréales la plus cultivée dans la zone d’étude. Il est donc nécessaire de contribuer à la conservation de ce système arbre-culture et à l’amélioration de leur productivité. En Afrique, certains travaux ont été réalisés sur le sujet notamment ceux de Zomboudré et al. (2005) au Burkina Faso, de Louppe et Ouattara (1997) en Côte d’Ivoire sur l’influence du karité sur les rendements agricoles puis celui de Libert et Eyog-Matig (1996) sur l’influence du *Faidherbia albida* sur la culture du coton au Cameroun. Au Bénin, des études sur l’influence de l’ombrage du karité sur le rendement capsulaire du cotonnier ont été abordées par (Gbemavo et al., 2010). Celles de l’influence de l’ombrage du karité sur la croissance en hauteur des plants et sur le rendement de cultures autres que le coton restent inconnues. L’objectif visé par la présente étude est d’évaluer l’influence de la couronne du karité sur la productivité (croissance en hauteur, rendement, biomasse fraîche) du coton et du sorgho dans le nord du Bénin. Spécifiquement il s’agit d’évaluer l’influence du karité sur la productivité de chaque culture et de comparer le revenu du karité par rapport à la productivité des cultures.

## 2. Méthodes

### 2.1. Milieu d’étude

La présente étude a été réalisée dans deux villages du nord Bénin à savoir : Gounarou (10° 47 655N et 2° 48 610E) et Tomboutou (11° 84 306N et 3° 24 966E) (Figure 1). Le village de Gounarou est caractérisé par une topographie assez plate, une pluviométrie moyenne annuelle de 1 200 mm distribuée sur une saison pluvieuse de mai à octobre avec une longueur moyenne du cycle cultural de 150 jours. Les principales cultures rencontrées à Gounarou sont le coton, le maïs, le sorgho, l’igname et les produits d’élevage. La durée des jachères varie de 5 à 10 ans voire plus. Les *bariba* y constituent l’ethnie dominante. Le village Tomboutou quant à lui a un paysage plus ouvert, caractéristique des régions du Sahel. La pluviométrie moyenne annuelle est de 900 mm avec une période culturale de 120 jours. C’est une zone à dominance céréalière où l’on cultive le riz, le sorgho, le petit mil. L’arachide, les cultures maraîchères (tomate, piment, gombo, pomme de terre, oignon), ainsi que le cotonnier et le manioc sont présents dans le paysage agraire. C’est également une zone d’élevage et de pêche. La récolte des cultures a lieu de novembre à décembre voire janvier où les résidus de récolte (tiges de sorgho et de cotonnier) sont laissés sur le champ pour la vaine pâture. D’importantes quantités de paille de sorgho sont aussi prélevées pour des usages domestiques (palissade, clôture, production de savon). La pression sur les ressources est fortement perceptible à Tomboutou avec un cycle cultural pratiquement sans jachère (1 à 2 ans) où on note de fréquents conflits entre agriculteurs et éleveurs. La principale ethnie à Tomboutou est le groupe socio-culturel

dendi. L'arrondissement de Tomboutou est frontalier au marché international de la Commune de Malanville où se mènent d'importantes activités commerciales.

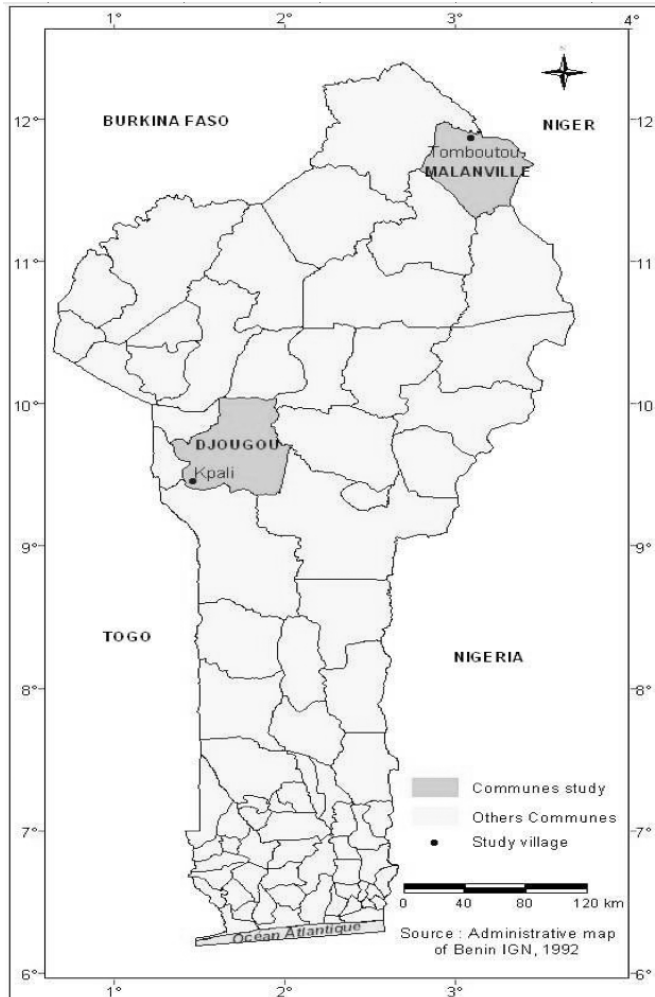


Figure 1. Carte présentant le milieu d'étude.

## 2.2 Appréciation de l'influence du karité sur la productivité du coton et du sorgho

### 2.2.1. Dispositif expérimental et collecte des données

Le dispositif expérimental est constitué des arbres de karité et des cultures de coton et de sorgho. Deux critères ont permis de choisir les arbres-échantillons de karité à savoir l'association du karité à la culture du coton ou du sorgho, en condition de sol plus ou moins homogène. La largeur de la couronne des arbres, prend en compte trois classes de diamètre houppier : 4-8 m ; 8-10 m et > 10 m. Les variétés de sorgho utilisées sont les variétés locales appelées sorgho rouge ou *dobi* en bariba à Gounarou et sorgho précoce blanc ou *henniwasso* en dendi à Tomboutou alors que pour le coton, la variété cultivée dans les deux

villages est la variété améliorée H 279-1, semée à 0,80 m sur la ligne et 0,40 m entre les lignes et démarriée à deux plants par poquet. Les écartements des plants de sorgho sont de 1 m sur la ligne et de 0,90 m entre les lignes et non démarriés. Dans chaque classe de diamètre de houppier, trois arbres associés aux cultures de coton ou de sorgho ont été choisis au hasard dans chacun des deux terroirs villageois au sein de 18 à 21 exploitations agricoles. Au total neuf arbres ont servi d'expérimentation par culture et par village d'étude.

Deux transects Nord-Sud et Est-Ouest ont été matérialisés autour de chaque arbre échantillonné. Les transects avaient permis de délimiter deux zones d'influence des arbres : la zone sous et hors houppier du karité. Les distances à l'arbre retenues pour la collecte des données sont :  $0,5 \times \text{Rayon}$  du houppier et  $1,5 \times \text{Rayon}$  du houppier (Figure 2). Ainsi, à chaque position de mesure, une surface carrée de 1 m de côté a été matérialisée. Ce dispositif a servi à prendre les mesures sur les plants de cotonnier et de sorgho. Au sein de chaque unité expérimentale, les données collectées concernaient la hauteur des pieds de cotonnier ou du sorgho, le poids de la biomasse fraîche constituée par les résidus de la récolte par culture et le nombre de capsules du cotonnier.

### 2.2.2. Analyse statistique des données

Les variables mesurées ont été soumises à une analyse de la variance, modèle partiellement hiérarchisé à 5 facteurs à savoir : site ou village (facteur fixe), classe de houppier (facteur fixe), distance à l'arbre (facteur fixe), direction (facteur fixe), plant de sorgho ou de coton (facteur subordonné aux 4 autres facteurs). Les moyennes ajustées ont été calculées pour les différents niveaux de facteurs ainsi que les diagrammes d'interaction pour les interactions entre facteurs qui sont significatives.

De plus, une analyse économique a été faite pour comparer le revenu du karité par rapport à la productivité du coton.

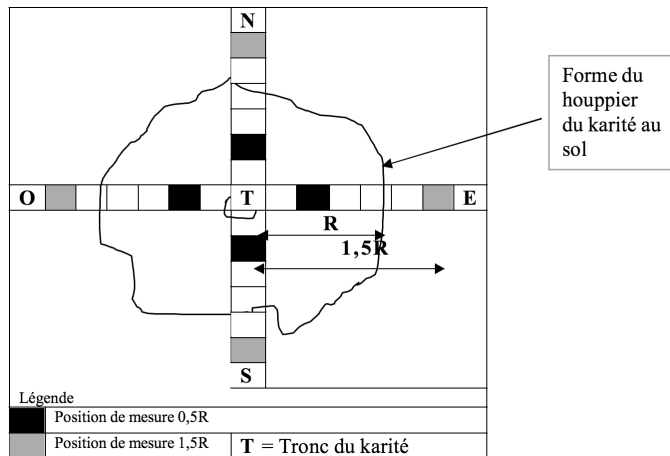


Figure 2. Dispositif expérimental de la collecte des données.

## 3. Résultats

### 3.1. Influence de la couronne du karité sur la productivité du sorgho

Les résultats d'analyse de la variance effectuée pour tester l'effet de différents facteurs sur le rendement du sorgho révèlent des différences très hautement significatives entre les niveaux des facteurs Site et Position, en ce qui concerne la hauteur des plants de sorgho et la biomasse fraîche qui exprime le rendement (Tableau 1). Le diamètre de la couronne

et l'orientation des pieds de sorgho n'ont pas d'effet significatif sur la hauteur des plants de sorgho mais influence significativement la biomasse fraîche. Le tableau 2 présente les moyennes des différents paramètres de productivité du sorgho suivant les différentes positions (hors influence et sous influence). L'analyse de ce tableau révèle que les arbres de karité, de par leur couronne, réduisent le rendement du sorgho sous houppier dans les parcs à karité. En effet, la hauteur moyenne des plants de sorgho est réduite de 9,74 %, tandis que la biomasse fraîche est réduite de 29,31 %. L'influence de la couronne des arbres de karité sur la hauteur du sorgho dépend du diamètre de la couronne et vice versa (Tableau 1). Cette interaction diamètre, couronne et position est illustrée au tableau 3. L'analyse de ce tableau indique des hauteurs significativement plus élevées pour les plants en dehors de la zone d'influence du houppier (3/2r) que pour ceux situés dans la zone d'influence (r/2).

**Tableau 1.** Résultats de l'analyse de variance à 5 facteurs pour la hauteur des plants, et la biomasse fraîche du sorgho.

Source	d.f.	Hauteur du plant		Biomasse fraîche (km/m <sup>2</sup> )	
		MS	F	MS	F
Site (S)	1	1 255 130,89	154,57***	54 164,35	685,15***
D (Diamètre couronne)	2	16 764,68	2,06	1 441,11	18,23***
Po (Position)	1	352 091,05	43,36***	12 274,46	155,27***
O (Direction)	3	6 039,39	0,74	728,81	9,22***
T(S x D x Po x O)	471	7 701,29	0,95	43,63	0,55
Po x O	3	25 913,56	3,19	109,64	1,39
D x Po	2	16 703,89	2,06***	494,44	6,25**
S x D	2	193 618,25	23,84	2 180,96	27,59***
S x Po	1	6 483,13	0,80	925,49	11,71***
S x O	3	16 930,85	2,09	803,56	10,16***
D x O	6	14 614,29	1,80	160,27	2,03
S x D x Po	2	23 772,15	2,93	192,21	2,43
S x Po x O	3	5 656,90	0,70	430,74	5,45**
D x Po x O	6	30 103,17	3,71	252,19	3,19*
S x D x Po x O	12	13 376,40	1,65	394,86	4,99***

\* Différence significative ; \*\* Différence hautement significative ; \*\*\* Différence très hautement significative.

**Tableau 2.** Moyenne ajustée (M) et erreur-type (Se) de la hauteur des plants et la biomasse fraîche du sorgho selon la position.

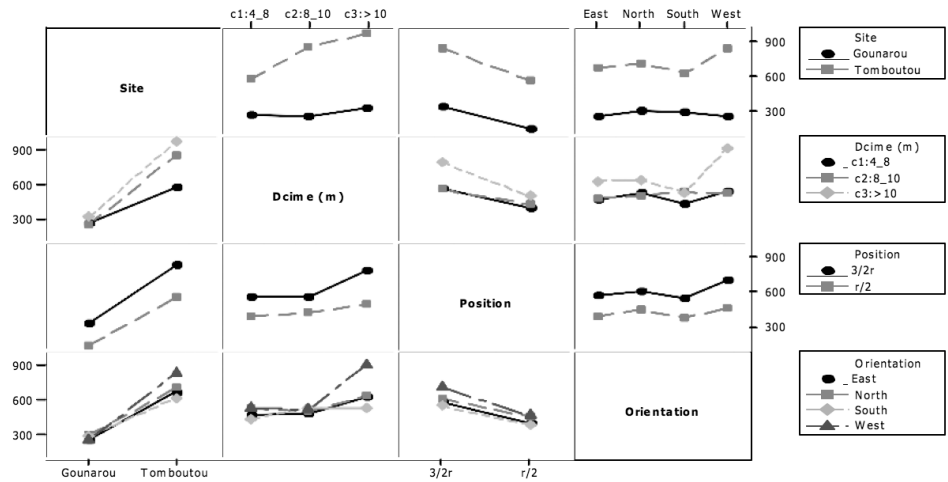
Paramètres	Hors influence		Sous influence		Différences des moyennes
	M	Se	M	Se	
Hauteur (cm)	375,8	3,38	339,2	4,76	36,6 (9,74 %)
Biomasse fraîche (g/m <sup>2</sup> )	571,4	14,49	403,9	17,75	167,5 (29,31 %)

La description des effets des différentes interactions est présentée à la figure 3.

L'analyse globale de cette figure révèle que la biomasse fraîche par m<sup>2</sup> de terre est globalement plus importante à Tomboutou qu'à Gounarou. De plus, les plants situés dans la zone d'influence du karité sont globalement moins productifs que ceux situés hors de la zone d'influence. Par contre, les niveaux du facteur «largeur de la couronne des arbres de karité» sont influencés par le site. En effet, à Gounarou, l'effet de la largeur de la couronne sur le rendement du sorgho est négligeable alors qu'à Tomboutou, la biomasse des plants augmente avec la largeur moyenne de la couronne des arbres de karité. Cette dernière observation est faite quelle que soit la position des plants de sorgho et leur orientation par rapport à l'arbre à karité.

**Tableau 3.** Moyenne ajustée (M) et erreur type (Se) de la hauteur des plants de sorgho selon le diamètre de la couronne et la position.

Diamètre de la couronne	Position	Hauteur (cm)	
		M	Se
4-8 m	r/2	353,66	7,66
8-10 m	r/2	343,64	9,75
> 10 m	r/2	351,85	11,10
4-8 m	3/2r	381,80	6,54
8-10 m	3/2r	387,64	7,10
> 10 m	3/2r	403,34	8,44



**Figure 3.** Interaction Plot et Biomasse fraîche de sorgho.

En ce qui concerne l'orientation des plants de sorgho par rapport aux arbres de karité, la position Ouest semble les favoriser.

### 3.2. Influence de la couronne du karité sur la productivité du coton

Le tableau 4 présente les résultats de l'analyse de variance pour le test de l'effet de différents facteurs sur la hauteur des plants de coton, le nombre de capsules et la biomasse fraîche. L'analyse de ce tableau révèle que tous les paramètres de productivité du coton varient significativement suivant les différents facteurs principaux excepté l'orientation des plants qui n'a pas d'influence significative sur la hauteur des plants de coton. Le tableau 5 présente les moyennes des différents paramètres de productivité du coton suivant les différentes positions (hors influence et sous influence). L'analyse de ce tableau révèle que les arbres de karité, de par leur couronne, réduisent le rendement capsulaire du coton sous houppier dans les parcs à karité de Gounarou et de Tomboutou au Nord du Bénin. En effet la hauteur moyenne des plants de coton est réduite de 6,59 % sous couronne, le nombre de capsules par plant est en baisse de 13,06 % sous couronne, tandis que la biomasse fraîche est réduite de 36,68 % par la couronne des arbres de karité. Par ailleurs, seules les interactions deux à deux de l'effet du site avec la largeur de la couronne et avec la position de la plante sont significatives, ainsi que l'interaction entre la largeur de la couronne et l'orientation.

**Tableau 4.** Résultats de l'analyse de variance à 5 facteurs pour la hauteur des plants, le nombre de capsules et la biomasse fraîche du coton.

Source	d.f.	Hauteur du plant		Nombre de capsules		Biomasse fraîche (kg/m <sup>2</sup> )	
		MS	F	MS	F	MS	F
Site (S)	1	57313,67	143,25***	131,64	10,67	3617,77	2591,43***
D (Diamètre couronne)	2	11014,08	27,53***	154,12	12,50***	122,70	87,89***
Po (Position)	1	4317,14	10,79**	113,39	9,19**	603,95	432,61***
O (Direction)	3	477,07	1,19	74,39	6,03***	47,83	34,26***
T(S × D × Po × O)	346	400,11	0,89	12,33	0,85	1,40	0,38
S × D	2	8943,93	22,35***	353,71	28,68***	126,21	90,41***
S × Po	1	10597,52	26,49***	0,99	0,08	248,23	177,81***
S × O	3	890,37	2,23	47,87	3,88**	69,15	49,53***
P × O	3	656,42	1,64	20,64	1,67	37,74	27,03***
D × O	6	1310,92	3,28**	13,55	1,10	21,38	15,32***
D × Po	2	23,52	0,06	76,36	6,19**	16,97	12,16***
S × D × Po	2	210,28	0,53	81,39	6,60**	14,43	10,33***
S × Po × O	3	689,22	1,72	25,94	2,10	23,46	16,80***
S × D × Po × O	18	946,61	2,37**	9,48	0,77	25,32	18,13***

\* Différence significative; \*\* Différence hautement significative; \*\*\* Différence très hautement significative.

**Tableau 5.** Moyenne ajustée (M) et erreur-type (Se) de la hauteur des plants, et la biomasse fraîche du sorgho selon la position.

Paramètres	Hors influence		Sous influence		Différences des moyennes
	M	Se	M	Se	
Hauteur (cm)	94,72	0,81	88,48	0,89	6,24 (6,59%)
Biomasse fraîche (g/m <sup>2</sup> )	147,70	3,01	93,53	3,29	54,17 (36,68%)
Nombre de capsules	6,91	0,13	6,014	0,14	0,869 (12,97%)

La description des différentes interactions significatives est présentée à la figure 4. On y note qu'à Tomboutou, l'effet de la largeur de couronne n'est pas significatif sur la hauteur des plants de coton alors que les plants de coton situés en dehors de la zone d'influence du karité ont des hauteurs significativement élevées. Par contre, à Gounarou, on note l'effet non significatif de la position des plants par rapport à l'arbre à karité ; de plus, les arbres à karité à largeur de couronne élevée (> 10 m) affectent négativement la hauteur des plants de coton. En ce qui concerne l'orientation des plants suivant les 4 directions, on note que les arbres à grande couronne affectent négativement la hauteur des plants dans toutes les directions sauf à l'Ouest où la différence n'est pas perceptible.

La figure 5 illustre les interactions entre les modalités des différents facteurs. L'analyse de cette figure indique une supériorité nette de la biomasse fraîche (kg/m<sup>2</sup>) des plants de coton à Gounarou, quel que soit le niveau des autres facteurs. Toutefois, on note une baisse de biomasse dans la direction Ouest, pour les plants situés dans la zone sous houppier surtout pour les arbres à largeur de couronne élevée. En ce qui concerne la largeur de la couronne des arbres, on note des valeurs élevées de la biomasse des plants de coton associés à des arbres de largeur moyenne de couronne, quelles que soient la direction et la position des plants par rapport aux arbres. Toutefois, à Tomboutou, on ne note pas de différence significative entre les niveaux de largeur des couronnes suivant la biomasse des plants de coton.

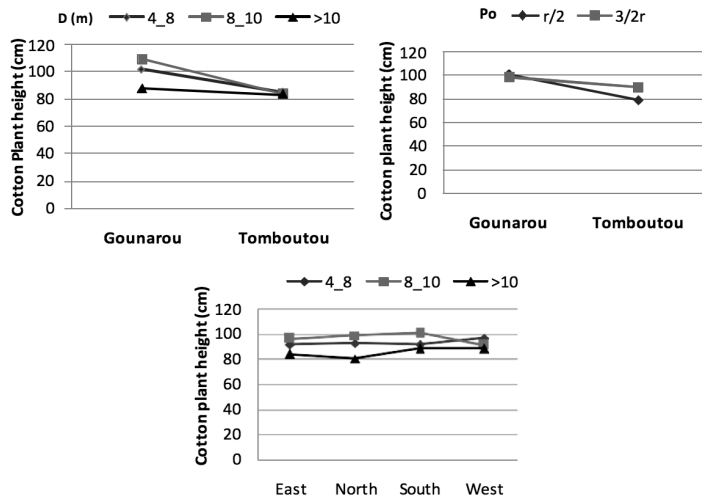


Figure 4. Interaction Plots of la hauteur des plants de coton (cm).

Quant à la position des plantes par rapport aux arbres, la figure 5 révèle que les plants de coton situés hors de la couronne des arbres présentent des biomasses plus élevées, quels que soient les niveaux des autres facteurs, excepté à Tomboutou, où les deux positions occasionnent le même poids moyen de biomasse ( $73 \text{ kg/m}^2$ ).

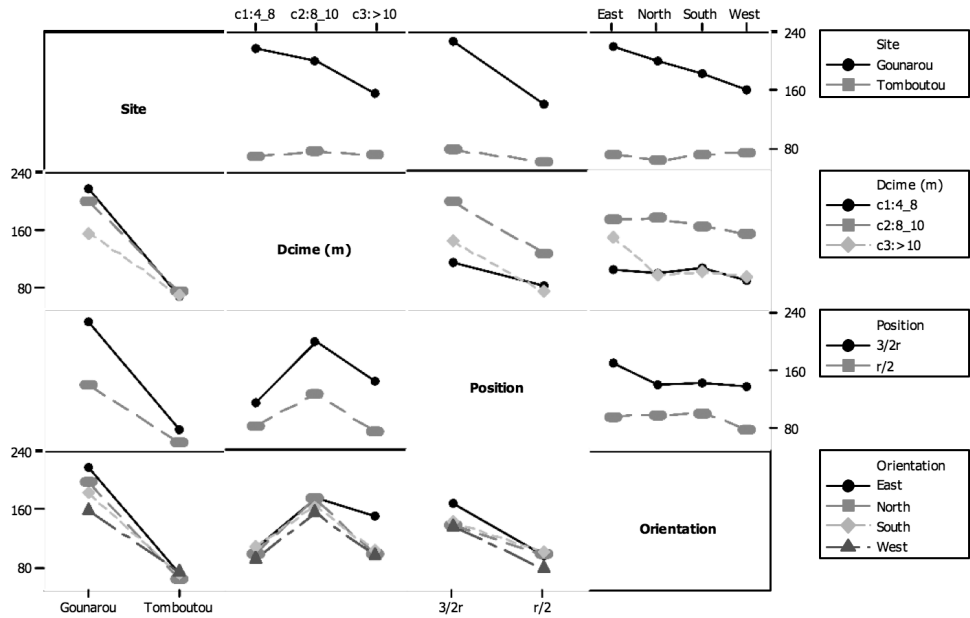


Figure 5. Interaction Plots de la Biomasse fraîche de coton.



### 3.3. Paramètres dendrométriques du karité et analyse comparative du rendement karité-coton

La densité actuelle du karité dans le parc de Kandi est de 31 pieds/ha et le diamètre moyen des arbres à karité est de 49 cm. Tandis que dans le parc de Bembèrèkè, la densité d'arbres est de 41 pieds/ha et les arbres ont un diamètre moyen de 29 cm.

L'arbre à karité a un nombre important d'usages. L'étude s'est limitée au revenu direct qu'apportent l'amande et le beurre du karité aux exploitants. En effet, il existe deux grandes périodes : une période d'abondance manifestée par des prix relativement bas sur les marchés (décembre à avril) et une période de rareté des produits sur les marchés (mai à septembre). Pour effectuer l'analyse comparative, les prix moyens de l'amande et du beurre ont été déterminés. Dans la littérature, le rendement moyen de la fibre de coton dans la zone d'étude est plus ou moins égal à 500 kg/ha et son prix au premier choix lors de la campagne cotonnière 2011-2012 au Bénin est de 260 Fcfa. Les résultats issus de cette analyse économique (Tableau 6) montrent qu'en moyenne, un exploitant ayant associé le karité au cotonnier perd 16 900 Fcfa/an, du fait de la réduction de la productivité des pieds de cotonnier situés sous les couronnes des arbres à karité. Les estimations faites se basent sur une production normale bien suivie par l'exploitant. Il ressort donc de cette analyse que pour une optimisation de la productivité du cotonnier en association avec l'arbre à karité, il faut faire la culture du cotonnier hors houppier et associer une autre culture tolérant l'ombrage du karité.

**Tableau 6.** Analyse comparative du revenu de karité/la productivité du cotonnier.

Libellés	Valeurs
Quantité amande ramassée/exploitation (kg/an)	3 251,67
% amande vendue	24,33
Quantité amande vendue (kg/an)	791,238889
Revenu brut amande	25 137,6595
% beurre vendu	69,67
Quantité beurre vendue (kg/an)	2 265,32778
Revenu brut beurre (Fcfa/an)	586 719,894
Revenu total karité (Fcfa/an)	611 857,554
Revenu total fibre coton hors-houppier (Fcfa/an)	130 000
Revenu fibre coton sous-houppier (Fcfa/an)	113 100
Revenu total exploitation hors houppier (Fcfa/an)	741 857,554
Revenu total exploitation sous houppier (Fcfa/an)	724 957,554
Différence (Fcfa/an)	16 900

## 4. Discussion

### 4.1. Comparaison de la productivité des cultures (sorgho et coton) sous houppier et hors houppier du karité

De la présente étude il ressort que le houppier du karité a une influence négative sur la hauteur des plants de coton et de sorgho, de même que sur le rendement capsulaire des plants de coton. La nature du sol, la disponibilité en eau et l'incidence des rayons solaires sont les trois facteurs principaux qui peuvent expliquer la variation observée entre les plants de coton et de sorgho sous houppier karité et hors houppier karité. En effet, on note une nette amélioration de l'humidité du sol et la fertilité du sol sous les houppiers du karité (Zomboudré et al., 2005). En ce qui concerne l'eau, une partie des pluies, encore légère, est interceptée par le houppier des arbres. La quantité d'eau qui atteint le sol situé sous houppier peut s'avérer

insuffisante du fait qu'ensemble, l'arbre et la culture sous-jacente, absorbent plus d'eau que la composante culturale unique (Boffa, 2000). Mais il faut noter que le couvert participe aussi à l'économie de l'utilisation de l'eau du sol (Akpo, 1998). Les températures sont modérées sous karité sous l'effet de l'ombrage de leur houppier (Zomboudré et al., 2005). La diminution du rendement des cultures sous houppier karité est donc fortement corrélée à la diminution régulière de l'intensité lumineuse et de l'eau constatée sous le houppier des karités due à leur ombrage. À cela pourrait s'ajouter la compacité du sol sous les arbres due au tassement par les animaux et les hommes qui y stationnent à l'ombre durant la saison sèche. Ce qui peut augmenter le ruissellement et limiter le développement des plantules de coton, en particulier en cas de semis sans travail du sol.

Nos résultats concordent avec ceux de plusieurs auteurs en ce qui concerne l'influence de l'arbre en général et du karité en particulier sur les rendements agricoles. En effet, Gbemavo et al. (2010) avait trouvé dans la commune de Kandi au Bénin que le rendement capsulaire des plants de coton diminue de 28,46% en moyenne sous houppier karité. Ce pourcentage de baisse du rendement capsulaire du coton est le double de celui trouvé dans cette étude. La différence de pourcentage pourrait être liée aux techniques culturales ou à la différence des sites d'études. Zomboudré et al. (2005) remarquent que malgré l'importance de l'humidité et la fertilité du sol sous les houpriers, la production du maïs est restée bien inférieure à celle relevée hors houppier. Louppé et Ouattara (1997) en Côte d'Ivoire ont trouvé que l'arbre à karité induit de faibles pertes de rendements du cotonnier (inférieures à 3 kg par arbre). Des observations semblables ont été faites sur une culture de sorgho associée au néré et au karité où les rendements avaient fléchi dans les parcelles sous houppier (Maïga, 1987; Kessler, 1992). Sarr (2001) a trouvé au Sénégal que le néré entraîne une baisse du rendement en gousses de l'arachide. Zhu et al. (1991) concluent dans leurs travaux que le rendement des cultures est fortement réduit par les arbres dans les associations blé-paulownia en Chine.

Les résultats de l'analyse du rendement en coton graine dans les parcs à *Faidherbia* sont plus nuancés : 9 arbres sur 15 ont montré un effet *Faidherbia* en faveur de la culture sous l'arbre et 6 en défaveur (Libert, Eyog Matig, 1996). Ce résultat conclut un effet global positif de *F. albida* sur le rendement du cotonnier. Les auteurs ont tenté d'expliquer cela par le fait que *Faidherbia albida* aurait un effet variable en fonction de la fertilité de la station; il favorise les cotonniers en mauvaises conditions et les concurrence lorsque les conditions sont meilleures. Louppé et Ouattara (1997) en Côte d'Ivoire ont trouvé que l'arbre à karité induit de très légers gains pour le maïs et l'arachide sur les parcelles les plus fertiles. Ces auteurs se rejoignent sur la fertilité des stations, qui peuvent inverser la tendance d'influencer les arbres. Diarassouba et al. (2008) au Burkina-Faso ont relevé dans leurs travaux qu'une relative augmentation du rendement des cultures (maïs, coton, arachide, etc.) sous le houppier du karité a été signalée par 52 % des exploitants agricoles et 15 % des paysans interviewés ont évoqué une baisse du rendement des cultures (mil, fonio, etc.) sous le houppier du karité. Globalement les effets de l'arbre sur les rendements agricoles semblent être contradictoires. L'intérêt de l'association plante-culture réside donc dans le maintien de la fertilité des terres et la durabilité des systèmes de culture (Traoré, 2003) d'autant plus que beaucoup d'auteurs ont trouvé que les arbres à karité sont des fertilisants des parcs de par leur biomasse foliaire.

En effet les études de Kater et al. (1992) et de Tomlinson et al. (1995) rapportent que les arbres des champs ont des effets positifs sur la fertilité des sols, notamment sur les teneurs de la matière organique et de l'azote, leurs zones d'influence représentant des îlots de fertilité en zone semi- aride. De même, les travaux de Bayala et al. (2002) à Saponé au Burkina-Faso ont montré que le paillis des feuilles de karité a induit chez le mil, une augmentation de 120 % de son rendement grain et 43 % de son rendement en matière sèche totale. Les feuilles de karité contribuent à la fertilisation du sol.

## 5. Conclusion

à travers cette étude, il a été noté que les paramètres de productivité des cultures de sorgho et de coton (la hauteur des tiges, le rendement et la biomasse fraîche) sont plus élevés hors houppier que sous houppier de karité. L'arbre à karité dans les parcs à karité a donc un effet défavorable sur les cultures mises en place sous les couronnes. Ce qui présente un impact économique négatif sur le revenu annuel de l'exploitant. On retient donc que pour optimiser la productivité du cotonnier en association avec l'arbre à karité, il faut le cultiver hors houppier. Il est urgent de remédier à cette influence négative des couronnes des arbres de karité sur les cultures par l'installation des cultures qui peuvent supporter l'ombrage des arbres sous les couronnes. Parmi ces cultures on peut expérimenter le piment qui est une culture d'importance capitale pour l'alimentation.

## Remerciements

Les auteurs remercient le Programme RIPIECSA à travers le Ministère Français des Affaires Étrangères pour avoir financé cette étude.

## Bibliographie

- Agbahungba G., Depommier D., 1989. Aspects du parc à karité-néré (*Vitellaria paradoxa* Gaertn. f.-*Parkia biglobosa* Jacq. Benth) dans le sud du Borgou (Benin). *Bois et Forêts des Tropiques*, **222**, 41-54.
- Akpo L.E., 1998. *Effet de l'arbre sur la végétation herbacée dans quelques phytocénoses au Sénégal. Variation selon un gradient climatique*. Thèse de Doctorat d'État en Sciences Naturelles FST-UCAD, 133 p.
- Bayala J., Teklehaimanot Z., Ouedraogo J.S., 2002. Millet production under pruned tree crowns in a parkland system in Burkina Faso. *Agroforestry Systems*, **54**, 203-214.
- Boffa J.M., 2000. *Les parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne*. FAO, Rome. Cahier FAO Conservation 34, 258 p.
- Diarassouba N., Koffi E.K., N'Guessan K.A., Van Damme P., Sangare A., 2008. Connaissances locales et leur utilisation dans la gestion des parcs à karité en Côte d'Ivoire. *Afrika Focus*, **21**, 77-96.
- Gbemavo D.S.J.C., Glèlè Kakaï R., Assogbadjo A.E., Katary A., Gnanglè P., 2010. Effet de l'ombrage du karité sur le rendement capsulaire du coton dans les agroécosystèmes coton-karité du Nord Bénin. *Tropicultura*, **28**(4), 193-199.
- Gnanglè P.C., 2005. *Parcs à karité (Vitellaria paradoxa) (Gaertn. C. F.) (Sapotaceae) au Bénin : Importance socio-culturelle, caractérisations morphologique, structurale et régénération naturelle*. Mémoire de DEA. Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles. UAC/FSA, 113 p.
- Kater L.J.M., Kante S., Budelman A., 1992. Karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) associated with crops in South Mali. *Agroforestry Systems*, **18**, 89-106.
- Kessler J.J., 1992. The influence of karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) trees on sorghum production in Burkina Faso. *Agroforestry Systems*, **17**, 97-118.
- Libert C., Eyog-Matig O., 1996. *Faidherbia albida* et production cotonnière. In : *Les Parcs à Faidherbia (Acacia albida Parklands)*. Cahiers scientifiques du Cirad-Forêt 12, 103-122. Cirad, Montpellier, France.
- Loupe D., Ouattara N.K., 1997. Influence du karité sur les productions agricoles du Nord de la Côte d'Ivoire. In : *CIRAD-Forêt. 11<sup>ème</sup> congrès forestier mondial, Antalya, Turquie, du 13 au 22 octobre 1997*, 10-13.

- Maiga A., 1987. *L'arbre dans les systèmes agroforestiers traditionnels dans la province du Bazèga. Influence du karité, du néré et de Acacia albida sur le sorgho et le mil.* Rapport de stage. Ouagadougou, IRBET/CNRST, 86 p.
- Sarr D., 2001. *Importance du néré (Parkia biglobosa (Jacq.) Benth.) dans le système de culture à arachide (Arachis hypogaea L.) dans le terroir de la Néma en zone soudano-sahélienne (Sine-Saloum, Sénégal).* DEA biologie végétale, UCAD, 37 p.
- Traoré K.B., 2003. *Le parc à karité : sa contribution à la durabilité de l'agrosystème. Cas d'une toposéquence à Konobougou (Mali-Sud).* Thèse de doctorat : Sciences du sol, Montpellier, France, 216 p.
- Tomlinson H., Teklehaimanot Z., Traore A., Olapade E., 1995. Soil amelioration and root symbioses of *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth. in West Africa. *Agroforestry Systems*, **30**, 145-159.
- Zhu Z., Cail M., Wang S., Jiang Y. (eds), 1991. *Agroforestry Systems in China.* Chinese Academy of Forestry and International Development Research Center, Singapour, 216 p.
- Zomboudré G., Zombré G., Ouedraogo M., Guinko S., Macauley H.R., 2005. Réponse physiologique et productivité des cultures dans un système agroforestier traditionnel : cas du maïs (*Zea mays* L.) associé au karité (*Vitallaria paradoxa* Gaertn.) dans la zone est du Burkina Faso. *Biotechnologie, Agronomie, Société, Environnement*, **9**(1), 75-85.

## Novel approaches used to breed and evaluate cotton

Bourland Freddie M., University of Arkansas, Keiser, Arkansas, USA,  
E-mail: fbourland@uaex.edu

### Abstract

To remain viable, cotton breeding and cultivar testing programs must make adjustments to meet changing needs and to take advantage of new opportunities. Novel approaches relative to yield components and fiber quality traits have been developed and are being used by the University of Arkansas Cotton Breeding Program and Cultivar Testing Program. Over the past century, direct selection for improved yield has provided substantial advancements. The use of yield components may now open opportunities for additional advancement. Weight of lint per seed times the number of seed per area are the most basic components of cotton yield. Improvement of yield and yield stability may be realized by emphasizing weight of lint per seed (and related parameters of fibers per seed and fiber density) over number of seed per area. Fiber quality is often measured by multiple parameters. Development of a fiber quality index (called Q-score) is being used to define fiber quality within a specific focus and has facilitated improvement of fiber quality. Transgenes form a third group of novel traits. Cultivars possessing transgenic traits have been developed by private industry and are being evaluated by cultivar testing programs. Novel approaches employing yield component, fiber quality, and transgenic traits are chronicled in this paper.

### Nouvelles pratiques utilisées pour sélectionner et évaluer le coton-fibre

Pour rester viable, la culture du coton et les programmes d'essais des cultivars doivent s'adapter afin de rencontrer les besoins changeants et profiter des nouvelles opportunités.

Des approches innovantes relatives aux composantes du rendement et aux caractéristiques de qualité des fibres ont été développées et utilisées dans le cadre des programmes d'élevage de coton et d'essai des cultivars de l'Université d'Arkansas. Au cours du siècle passé, la sélection directe pour l'amélioration du rendement a permis des avancées substantielles. L'utilisation des composantes du rendement ouvre maintenant de nouvelles opportunités pour de nouvelles avancées. Le poids des fibres par graine multiplié par le nombre de graines par surface sont les composantes essentielles du rendement coton. L'amélioration du rendement et la stabilité du rendement peuvent être atteints en privilégiant le rendement fibres (et les paramètres relatifs à la quantité de fibres par graine et la densité des fibres) plutôt que le nombre de graines par surface. La qualité de la fibre est souvent mesurée à l'aide de plusieurs paramètres. Le développement de l'index de qualité de la fibre (appelé Q-score) est utilisé pour définir la qualité de la fibre selon un focus spécifique et a permis l'amélioration de la qualité de la fibre. Les transgènes forment un 3<sup>e</sup> groupe de nouvelles caractéristiques. Des cultivars possédant les caractéristiques de transgène ont été développés par le privé et sont évalués dans le cadre des programmes d'essai de cultivars. Ces nouvelles approches qui utilisent la composante rendement, la qualité de la fibre et les caractéristiques transgéniques sont traitées dans cet article.

## 1. Introduction

In addition to yield, traits that are often considered when evaluating and breeding cotton lines include aspects of seed quality, pest (insect and disease) resistance, temperature (cold and heat) tolerance, various morphological traits, maturity, plant conformation, characteristics associated with harvest and ginning efficiency, yield components and fiber quality. In addition, several transgenic traits have recently been added. Maintaining positive expression for these traits in a breeding program requires constant attention and effort.

To improve cotton lines, breeders sometimes establish novel traits or new expression of old traits. To facilitate such improvement, breeders must first find, establish, and maintain variation for important traits in their program, then re-direct selection as demand changes. Barriers that hinder progress include establishing means to identify and measure new traits, discovery of useable genetic variation, and dealing with negative relationships of traits. Thus, a cotton breeder must constantly deal with a multitude of old traits and be able to occasionally add new ones.

Three major groups of cotton traits will be discussed in this paper: 1) yield components, 2) fiber quality, and 3) transgenes. For each group, some novel approaches which are being used to improve the traits will be shown.

## **2. Improving yield using yield components**

Production of high yield is a universal goal of cotton researchers and producers, but is complicated by several factors. First, due to its ability to compensate for variation in plant density, vegetative growth and lost fruit, the cotton plant can achieve high yields in many different ways. Consequently, the plant has been able to be adapted to a wide range of environments. Second, since yield can be attained by different avenues, it may be controlled by many single and/or multiple gene complexes. Consequently, the inheritance pattern for yield is complicated. Third, yield may be highly variable within a specific environment. Consequently, it is prone to experimental error in measurement. Fourth, cotton yield is strongly affected by genotype by environment interactions. Consequently, direct selection for yield may be restricted because a genotype may produce high yields in some environments but relatively low yields in other environments. To genetically improve yields, cotton breeders evaluate new lines over multiple locations and years. Incremental advancements for increased yield have been made by direct selection. By defining cotton yield into its basic components, additional advancement can be facilitated by indirect selection.

### **2.1. Defining basic yield components**

Modifying the basic components of cotton yield may provide a window to effectively select for improved yield efficiency. Most basic crop models define yield as the product of some determination of “number of seed per area” times the “weight per seed”. For cotton yield, the “weight of fiber per seed” must also be considered. Lewis et al. (2000) modeled cotton yield simply as the “number of seed produced per area” multiplied by the “weight of fiber per seed”. Obviously, a high number of seed per area is required for high yields. But, reliance on increased seed production to improve yield leads to less stable yields because: 1) seed production requires more weight – seed makes up about 60% of seedcotton by weight – than fiber production; 2) oil associated with the seed requires more energy than cellulose associated with fiber, and 3) number of seed per area is more greatly affected by environmental factors than is weight of fiber per seed. Slight changes in the partitioning can result in significant lint yield increases. An increase of only 5 milligrams of fiber per seed produces about 75 lb/acre (84 kg/ha) in lint yield.

Lint index, which is equal to weight of fibers per 100 seed, was commonly reported by cotton researchers in early 1900's, but was subsequently replaced by use of lint percentage. In addition to the ginning and fiber quality measurements normally available in cotton testing, the only other parameter needed to calculate lint index and seed per area is seed index (weight of 100 fuzzy seed). Selection for high lint index results in lines with higher lint weight per seed, but also larger seed. In contrast, selection for high lint percentage will result in lines with higher gin turnout, but also smaller seed. The need to reduce seed size of cotton genotypes in the early 1900's was one reason that cotton breeders preferred lint percentage over lint index.

To better understand the relation of lint index and yield, we have examined two additional parameters – number of fibers per seed and fiber density. Fibers per seed is determined by dividing lint index by the average weight of an individual fiber, which may be estimated using HVI® traits (upper half mean times uniformity index times micronaire (divided by 1,000,000)). Fiber density is calculated by dividing the number of fibers per seed by the seed surface area (SSA). We estimate SSA using the regression equation suggested by Groves and Bourland (2010):  $SSA = 35.74 + 6.59 \times SI$ , where SI is equal to seed index associated with the sample. We have found that “weight of fiber per seed” and its associated parameters of “number of fibers per seed” and “fiber density” (number of fibers per unit area of seed coat) are much less affected by environment than are lint yield or number of seed per area (Groves, 2009). Selecting for high fiber density may be an effective means to increase both yield and yield stability.

## 2.2. Basic yield components demonstrated

Each year, public cotton breeders in the U.S. are invited to participate in a Regional Cotton Breeders’ Network (RBTN) test by growing the test at their site and by entering up to five entries. In 2012, the RBTN test included 30 breeding lines and three check cultivars. Data (from the Keiser location) for five entries from my breeding program and three check cultivars provide several observations regarding yield components (Table 1). First, the performance of Ark 0409-17 demonstrates a highly desirable combination of yield components. Its high yield was produced by high lint index with a moderate seed index. Consequently, it produced a high number of fibers per seed and a high fiber density. Second, the performances of the five Arkansas strains indicate that selection has resulted in enhanced yield components in most, but not all, of the strains. Third, values for the Arkansas strains, other than Ark 0409-17, demonstrate that seed index and lint index tend to be highly related. Strains that have high seed index tend to have high lint index (and vice versa). Fourth, the performance of Ark 0410-32 and Ark 0407-03 demonstrate that high lint index must be accompanied by sufficient number seed per area to produce high yield. Finally, the yield components of the check cultivars were relatively low – particularly when compared to Ark 0409-07.

**Table 1.** Yield and yield components for five Arkansas cotton breeding lines and three check cultivars in the 2012 Regional Cotton Breeders’ Testing Network Strain Test<sup>1</sup>.

Strain	Lint yield		Seed/ha ( $\times 10^6$ )		Seed index		Lint index		Fibers/seed		Fiber density	
	kg/ha	rk	no.	rk	g	rk	g	rk	no.	rk	no.	rk
Ark 0409-17	1,919	1	25.49	4	10.3	14	7.6	3	16,139	2	146	2
Ark 0409-16	1,767	5	24.85	1	12.4	3	8.1	2	16,900	1	144	4
Ark 0410-32	1,676	15	23.00	22	12.5	2	7.6	6	13,138	29	111	33
Ark 0407-04	1,630	19	21.75	26	12.3	5	8.2	1	15,263	4	131	11
Ark 0404-03	1,614	21	24.30	16	10.3	27	6.3	31	11,839	33	114	32
DP 393	1,745	8	24.63	11	10.8	22	7.0	15	13,877	18	130	12
FM 958	1,745	9	24.13	19	11.7	10	7.4	7	13,797	17	124	25
SG 105	1,553	27	21.45	30	11.8	8	7.4	8	14,767	6	130	13
Mean, all 33	1,626		23.46		11.1		7.0		14,077		129	
LSD <sub>0.10</sub>	160		2.27		0.6		0.4		870		8	

1. The test included 30 entries with up to 5 entries submitted by each public cotton breeder in the U.S. and 3 check cultivars, and was evaluated at 14 locations spanning the U.S. cotton belt. Parameter values and ranks (rk) for entries were extracted from the test conducted at Keiser, Arkansas.



With regard to yield components in the University of Arkansas Cotton Breeding Program, selection preference is now being given to lines that obtain high yield via a high lint index, a sufficient number of seed per area, a moderate seed index, and a high fiber density. The precise relationship of high fiber density to yield, the other yield components, and yield stability continues to be explored.

### 3. Genetic improvement of fiber quality

The ability to produce competitive high yields must be the top priority when breeding or evaluating a cultivar, but the value of high yields is lower if the cotton fiber is difficult to market. Marketing of low quality cotton may be subject to high price discounts and delayed cash flow. Adverse environmental conditions will always provide an ample supply of low quality cotton. Marketing of low quality cotton is often supported by governmental marketing loans. Restructuring or elimination of these loan programs will further weaken marketing opportunities for low quality fibers. Consequently, the development of cotton cultivars possessing enhanced cotton fiber quality is essential for sustaining long-term cotton production in any region. Cultivars possessing a genetic capacity for higher fiber quality can build and sustain greater marketability and price. Even with harsh growing conditions, such cultivars will maintain a better quality than cultivars without a genetic capacity for high fiber quality.

Cotton fiber quality may be defined by High Volume Instrument (HVI®) classing or by Advanced Fiber Information System (AFIS). HVI® can measure up to about 12 parameters, and is widely used for marketing cotton throughout the world. AFIS can measure up to about 20 parameters, and is primarily used in research and in textile mills. AFIS measures individual fibers, and presently has limited use in cotton breeding programs.

#### 3.1. Obstacles to improving cotton fiber quality

Two major obstacles limit the improvement of cotton fiber quality. First, lint yield and fiber quality tend to be negatively related. If improved yield and fiber quality were positively related, fiber quality would be improved as breeders have selected higher yielding cultivars. This obviously has not been the case. Strong negative associations have long been found between lint yield and many fiber traits (Al-Joibouri et al., 1958; Meredith, Bridge, 1971). Using data sets from both Australia and U.S., Clement et al. (2012) recently showed that negative associations still exist between yield and fiber quality parameters. In each set of data, they found that fiber length and strength had significant negative associations with yield; fiber maturity had a positive association with yield, while associations of micronaire and fineness with yield were inconsistent. Poor relationships that are not genetically bound together can be broken, but considerable effort and focus is usually required. Placing a high priority on fiber quality traits in early generations is an approach that can help to break the negative relationship of fiber quality and yield. Relatively little time, expense and effort are expended by discarding plant materials in early generations.

The second major obstacle to improving fiber quality is the large number of parameters used to measure fiber quality. Ideally, breeders would like to have one parameter to characterize fiber quality. To address this desire, Bourland et al. (2010) developed "Q-score", a simple numerical index based on up to six HVI® fiber parameters. Fiber properties and their relative contributions to Q-score calculations initially used in Q-score included fiber length (50%), micronaire (25%), fiber length uniformity (15%), fiber strength (10%), short fiber index (0%) and elongation (0%). These weights were based upon perceived demands of the current cotton market, and were particularly weighted in favor of fibers desirable for ring-spinning technology. Users of Q-score may change the relative weights of the six HVI® parameters.

The optimum weightings of these traits in relation to yarn quality are unknown (The Excel program used to calculate Q-score is available from Dr. Don Jones at Cotton Incorporated, Cary, N.C.).

The HVI® parameters of elongation and short fiber index and elongation may be employed in Q-score calculations, but have received little attention. In most tests, cultivars and/or breeding lines display significant variation for elongation. However, values for elongation often vary greatly among years and among testing laboratories, partly because standard values have not been established. Without established test standards or rates for premium and discount values, use of elongation in Q-score is limited. In contrast to the measure of elongation, cultivars and/or breeding lines seldom display meaningful variation for short fiber index. This may be partly related to the small laboratory gins employed by breeders. Without meaningful differences in a trait, breeders can make little progress.

### 3.2. Using Q-score

Using data from multiple years of cultivar testing, Bourland et al. (2010) found that loan values (sometimes used to define cotton quality in the U.S.) that were highly skewed, while Q-score values were normally distributed – which are more likely to respond to selection. Q-score has been effectively used throughout the breeding process beginning with evaluation of non-replicated HVI® data from individual plant selections (IPS) and progenies and ending with replicated data used in the release of a cultivar. A primary benefit of Q-score with regard to IPS and progeny is the reduced time and effort required to make selections. Breeders typically make thousands of IPS each year. Discarding IPS's based on relative values for multiple fiber traits is a daunting task. Without the use of Q-score, a breeder will usually examine each fiber parameter value for an IPS and somehow mark whether each value is within some arbitrary tolerance limit. Frequently, the breeder must then mentally assign weights to the different parameters to determine which IPS's to discard. Sorting the data by Q-score facilitates rapid discard of lower quality lines and recognition of high quality lines. Once Q-score is calculated in a spreadsheet, the IPS's can be sorted by their relative Q-score and segregates with low Q-score values can be quickly and painlessly discarded.

Our present breeding strategy is to apply strong selection pressure for high fiber quality in early generations, then find the best yield performing lines among these high fiber quality selections. Using Q-score facilitates an increased priority on fiber quality in breeding programs. A recently developed cultivar, 'UA48' from the University of Arkansas Cotton Breeding Program illustrates this increased priority (Bourland, Jones, 2012a). As indicated by its Q-scores, the experimental line (which was later released as UA48) displayed excellent fiber quality during IPS and progeny testing stages (Table 2). Fiber data for an IPS may not be highly accurate, but generally reflect the fiber quality found in subsequent generations. These data suggest that individual plants and progeny having high Q-scores will produce strains with high Q-scores and illustrate the relative consistency of the genetic basis for fiber quality traits over years. The use of Q-score assisted with recognizing the high fiber quality of the experimental line, and was useful in the eventual release of the cultivar.

Two additional cultivars, 'UA103' and 'UA222', further illustrate this increased priority on fiber quality using Q-score (Bourland, Jones, 2012b; 2013). Both cultivars produced higher Q-scores and with lower (more desirable micronaire) than the check cultivars (Table 3). Lint yields of UA103 were equal to DP393, while lint yields of UA222 exceeded the check cultivars.

**Table 2.** Q-scores for Ark 0102-48 (experimental line released as ‘UA48’) during its development.

Year	Test	Q-score	Length (mm)	Length uniformity (%)	Micro-naire	Strength (g/tex)
2004	Individual plant	83	33.3	89.2	5.4	40.1
2005	1 <sup>st</sup> year progeny	97	32.5	86.0	4.5	36.5
2006	Advanced progeny	94	32.9	86.5	4.8	37.1
2007	Prel. Strain (4 loc.)	91	32.0	87.2	4.8	36.7
2008	New Strain (4 loc.)	86	33.3	87.0	4.8	34.5
2009	Adv. Strain (4 loc.)	88	33.0	87.0	4.8	34.6
	Adv. Strain (4 loc.)	87	32.8	87.0	5.0	36.2
2010	UA48, 4 yrs x 4 loc.	88	32.8	87.0	4.8	35.5
	DP393, 4 yrs x 4 loc.	57	30.0	84.5	4.7	32.2

**Table 3.** Yield and fiber quality over four locations of testing in Arkansas for ‘UA103’ in 2005-2010 and ‘UA222’ in 2008-2011.

Cultivar	Lint yield kg/ha	Q-score	Length (mm)	Length uniformity (%)	Micro-naire	Strength (g/tex)
UA103	1,382	75	30.7	84.9	4.5	32.0
DP393	1,431	62	29.7	84.8	4.8	32.2
LSD 0.10	ns	3	0.1	ns	0.2	ns
UA222	1,277	75	31.2	85.1	4.3	32.4
DP393	1,161	62	30.2	84.8	4.6	32.9
SG105	1,127	55	29.7	85.1	4.7	31.5
LSD 0.10	104	4	0.2	0.3	0.1	0.6

### 3.3. Reducing leaf trash

Since Q-score does not include consideration of trash or color parameters, it does not completely define fiber quality. Meaningful measures of trash and color are typically not available from small samples that are taken and processed by breeders. Color is primarily affected by field conditions after boll opening and prior to harvest, and by conditions during storage and ginning. Since color has little genetic basis, breeders have little opportunity to improve color grades of cotton.

As suggested by its species name (*Gossypium hirsutum* L.), Upland cotton is naturally “hirsute” or hairy. By reducing plant hairiness, breeders can effectively reduce trash content in ginned fiber. Reduced pubescence on cotton leaves has been associated with improved seedcotton cleaning efficiency and low foreign matter levels in harvested lint, and thus higher leaf grades in ginned cotton (Novick et al., 1991). To assist with characterizing leaf pubescence, Bourland et al. (2003) developed a rating system that could be easily used to identify less pubescent genotypes. Abaxial leaf surface of fully expanded leaves from random plants associated with every progeny row and replicated plot are characterized for leaf pubescence using a scale of 1 (glabrous), 3 (lightly hairy), 5 (hairy), 7 (very hairy) and 9 (pilose). Since genotype by location interaction is not strong, these evaluations are performed at only one location. Based on these characterizations, off-type plants can be removed from seed increases. Variation in trichomes associated with leaf margins may also be important, but have not been fully investigated. Hornbeck and Bourland (2007) found that number of abaxial trichomes was not correlated with number of marginal leaf trichomes.

If good leaf defoliation is experienced in a field, most of the trash in ginned cotton is bract tissue. However, pubescence on cotton bracts has received little attention. Bracts are modified leaves surrounding the flower buds and bolls of the cotton plant. Morey et al. (1976) found that bracts are a major contributor to “leaf trash” in harvested cotton. This seems reasonable since bracts are in closer proximity to the cotton fibers than are plant leaves, and most leaves are removed from the plant prior to harvest if defoliation is successful. By examining variation in marginal bract trichomes (“hairs”) on different canopy positions and cultivars as well as over time and environments, sampling methods were established by Bourland and Hornbeck (2007). We determine bract trichome density for all entries in replicated tests at one location. After physiological cutout, bracts from a mid-canopy, first-position boll are taken from six random plants per plot. The bracts are labeled, and placed in a freezer. At our convenience, the bracts are removed from the freezer and thawed on wetted germination paper. Marginal trichomes are counted in two areas of each bract using a viewing telescope and expressed as number per cm.

Variation in leaf pubescence and bract trichome parameters is illustrated in table 4. Cultivars with leaf pubescence ratings of less than 2.0, between 2.0 and 4.0, and above 4.0 could be designated as having glabrous, lightly hairy, and hairy leaves, respectively. Bract trichome counts varied significantly within each of these leaf pubescence groups. Glabrous leaf cultivars tend to have lower marginal bract trichome density than do hairy leaf cultivars, but there is some overlap of bract trichome density among glabrous and hairy leaf cultivars. Of all the Upland cotton genotypes that we have examined, none were found to have glabrous marginal bract surfaces.

**Table 4.** Q-score, leaf pubescence rating and counts of marginal bract trichomes for selected cotton cultivars in the 2011 Arkansas Cotton Variety Test1 (Bourland et al., 2012).

Cultivar	Q-score		Leaf pubescence		Bract trichomes	
	Value	Rank	Value	Rank	No/cm	Rank
AM1550 B2RF	54	23	1.0	21	20.3	20
DG2570 B2RF	59	16	1.0	21	21.3	18
DG2450 B2RF	66	7	1.2	19	33.1	6
UA48	89	1	1.4	17	20.9	19
DP0920 B2RF	57	21	2.4	13	33.8	4
DP0912 B2RF	49	24	2.8	11	34.1	3
PHY375 WRF	61	14	3.5	9	30.9	11
PHY499 WRF	59	18	3.6	8	29.0	13
ST5458 B2RF	58	20	3.8	6	24.1	15
AM1511 B2RF	55	22	5.3	2	32.4	7
UA222	84	2	5.3	3	31.6	9
ST5288 B2RF	65	8	6.9	1	43.9	1
Mean, 24 entries	63		2.7		27.6	
LSD 0.10	7		0.8		4.7	

1. The test included 24 entries and was evaluated at four locations in Arkansas. Q-score was determined from HVI® data taken from two replications at each location. Leaf pubescence (visually rated from 1 = smooth to 7 = very hairy) and bract trichomes (counted from six random bracts) were determined for four replications at Keiser.

Hornbeck and Bourland (2007) found significant, but low magnitude, correlations ( $r = 0.33$  to  $0.35$ ) between trichome density on abaxial leaf and marginal bract surfaces. This suggests some degree of independence of the two traits. Preliminary results from a ginning study of contrasting cultivars verify that lower marginal bract trichomes are related to lower trash in ginned cotton (Boykin and Bourland, 2012). At present, selection preference is given to lines with low bract trichome density – regardless of their leaf pubescence rating. By

considering both leaf and bract pubescence in combination with Q-score, improvement in fiber quality can be made.

#### 4. Cotton improvement with transgenes

Only a few years ago, transferring genes from other species into cotton was considered to be science fiction. Today, transgenic cotton is commonplace and is widely grown in many countries. In 1995, only a negligible amount of transgenic cotton was grown in Arkansas. By 2005, all except a small negligible amount was transgenic cotton. By expanding the gene pool to other species, transgenic technology has made it possible to acquire traits that were otherwise not available. Restrictions on the use of transgenic technology have provided seed companies an additional means to protect and regulate seed sales.

Transgenic cottons have had very positive effects on cotton production, and promise to continue to provide positive impacts. The major two transgenic types used today are the different forms of Bt genes for worm control and herbicide-resistance (e.g. glyphosate resistance commonly known as Round-up Ready®) genes to assist with weed control. Cottons possessing Bt genes were introduced in the mid 1990's. These cottons immediately impacted insect control, and subsequently led to increased yields and reduced insect control costs. Glyphosate-resistant cottons, also introduced in the mid 1990's, have profoundly affected cotton production systems in the U.S. Use of glyphosate for over-the-top weed control has simplified weed control, and decreased the time and effort needed to control weeds. Consequently, growers have been able to increase their farm size, while reducing their per unit production costs. Reducing the use of tillage and incorporated herbicides have allowed cotton plants to develop better root systems and incur less injury from tillage and incorporated herbicides.

Unfortunately, transgenic cottons also have some negative effects. First, the regulations associated with transgenes often become cumbersome and can delay release and/or restrict distribution of improved cultivars. Second, transgenes have sometimes exposed seed purity issues, and consequently have led to additional legal problems. Third, transgenes can impede genetic advance. Transgenic cultivars have primarily been developed using the backcross technique, which is a regression procedure that may restrict genetic advance of the basic germplasm. Time and expense is required to verify the presence/absence of transgenes. Progress is further restricted as the number of transgenes increase. Based on simple Mendelian inheritance, only 1 plant out of 16 in a segregating population will be homozygous for two transgenes, and only 1 out of 1024 plants will be homozygous for five genes. Therefore, combining multiple transgenes with good agronomic genes becomes extremely challenging. Fourth, technology fees associated with transgenes have greatly increased the upfront investment, and subsequently some risks associated with a crop. Finally, some pests are now building resistance to either the toxins or the herbicides associated with the transgenes. Most notable, wide-spread use and misuse of glyphosate in cotton and other crops has led to the development of weeds having resistance to glyphosate. Subsequently, the value of the transgene is reduced.

New transgenes are forthcoming that should counter some of these negative effects and/or add additional positive effects. Some of the most promising include stacking of herbicide resistance genes, resistance to other herbicides (Dicamba, 2-4d, HPPD), additional constructs of Bt technology, resistance to *Lygus* species (plant bugs), drought tolerance gene for arid regions, and reniform nematode resistance. Transgenes that might improve yield, lessen stress on plants, and improve fiber quality are being sought, but these genes will not likely be available in the near future.

About 10 years ago, I initiated a small effort to develop improved transgenic lines in my public breeding program. I quickly learned that transgenic breeding requires much effort, time, and diligence than I could provide. Initial cotton breeding is still mostly done with conventional lines and breeding techniques. Transgenes are then introgressed into the most promising lines. Due to the procedures required, introgression of transgenes is typically handled by a separate breeding program. Once the introgressed, the transgenic lines are mostly evaluated in our traditional manner.

## 5. Final remarks

The art of cotton breeding was once described by Dr. Bob Bridge, renowned cotton breeder now deceased, as trying to get a bunch of monkeys up a tree. Just when you think you have all of in the tree, one will fall out. In addition to the yield component (and yield), fiber quality and transgenic traits covered in this paper, “monkeys” (traits) associated with cotton breeding include aspects of seed quality, pest (insect and disease) resistance, temperature (cold and heat) tolerance, various favorable morphological traits, maturity, plant conformation, and characteristics associated with harvest and ginning efficiency. Establishing and maintaining optimum combinations of the traits within specific cultivars will always challenge cotton breeders and cotton researchers.

## Bibliography

- Al-Joibouri H.A., Miller P.A., Robinson H.F., 1958. Genotypic and environmental variances and covariances in an upland cotton cross of interspecific origin. *Agronomy Journal*, **50**, 633-636.
- Bourland F.M., Hornbeck J.M., 2007. Variation in marginal bract trichomes on Upland cotton. *Journal of Cotton Science*, **11**, 242-251.
- Bourland F.M., Jones D.C., 2012a. Registration of ‘UA48’ cotton cultivar. *Journal of Plant Registrations*, **6**, 15-18.
- Bourland F.M., Jones D.C., 2012b. Registration of ‘UA222’ cotton cultivar. *Journal of Plant Registrations*, **6**, 259-262.
- Bourland F.M., Jones D.C., 2013. Registration of ‘UA103’ cotton cultivar. *Journal of Plant Registrations*, **7**, 135-139.
- Bourland F.M., Hornbeck J.M., McFall A.B., Calhoun S.D., 2003. A rating system for leaf pubescence of cotton. *Journal of Cotton Science*, **7**, 8-15.
- Bourland F.M., Hogan R., Jones D.C., Barnes E., 2010. Development and utility of Q-score for characterizing cotton fiber quality. *Journal of Cotton Science*, **14**, 53-63.
- Bourland F.M., Beach A.B., Roberts D.P.Jr., 2012. *Arkansas cotton variety test 2011*. Arkansas Agricultural Experiment Station. Fayetteville, AR, USA. Research Series 598.
- Boykin C., Bourland F., Dobbs D., 2012. Effects of leaf and bract trichomes on trash content and quality of ginned lint. In : *Proceedings Beltwide Cotton Conference, Orlando, FLA. 3-6 Jan.* National Cotton Council, Memphis, TN, USA. p. 553-560.
- Clement J.D., Constable G.A., Still W.N., Liu S.M., 2012. Negative associations still exist between yield and fibre quality in cotton breeding programs in Australia and USA. *Field Crops Research*, **128**, 1-7.
- Groves F.E., 2009. *Improvement of cotton through selective use of lint and seed parameters*. Ph.D. diss. University of Arkansas, Fayetteville, AR, USA.
- Groves F.E., Bourland F.M., 2010. Estimating seed surface area of cottonseed. *Journal of Cotton Science*, **14**, 74-81.

- Hornbeck J.M., Bourland F.M., 2007. Visual ratings and relationships of trichomes on bracts, leaves, and stems of Upland cotton. *Journal of Cotton Science*, **11**, 252-258.
- Lewis H., May L., Bourland F., 2000. Cotton yield components and yield stability. In : *Proc. Beltwide Cotton Conf.*, San Antonio, TX. 4-8 Jan. 2000. National Cotton Council, Memphis, TN. p. 532-536.
- Meredith W.R., Bridge R.R., 1971. Breakup of lineage blocks in cotton, *Gossypium hirsutum* L. *Crop Science*, **11**(5), 695-698.
- Morey P.R., Sasser P.E., Bethea R.M., Kopetzky M.T., 1976. Variation in trash composition in raw cottons. *American Industrial Hygiene Association Journal*, **37**, 407-412.
- Novick R.G., Jones J.E., Anthony W.S., Aguillard W., Dickson J.I., 1991. Genetic trait effects on nonlint trash of cotton. *Crop Science*, **31**(4), 1029-1034.



## Improvement of agricultural production, fight against food insecurity and hunger through biological and sustainable agriculture: Strategies and applications within the cotton zone. A review

Ngakou Albert, Tchuenguem-Fohouo Fernand Nestor, University of Ngaoundere, Cameroon,  
E-mail: alngakou@yahoo.fr/aangakou@gmail.com  
Tamo Manuele, IITA, Cotonou, Benin,  
Gandebe Maurice, IRAD, WAKWA, Ngaoundere, Cameroon

### Amélioration de la production agricole, lutte contre l'insécurité alimentaire et la faim grâce à l'agriculture biologique et durable : stratégies et application à la zone cotonnière. Synthèse bibliographique

L'accroissement démographique dans les pays en voie de développement augmente le nombre de bouches à nourrir. Ceci rarifie la nourriture (famine), ajouté au fait que dans ce cas de figure les gens se nourrissent mal en qualité et en quantité (insécurité alimentaire). La principale cause de ces fléaux est le faible rendement des cultures qui découle de la nature quasi-acide des sols tropicaux, la faible quantité de matières organiques du sol ; les attaques des plantes par les maladies et les insectes ; et les mauvaises pratiques culturales. Les efforts déployés jusqu'ici tendent à accroître la production agricole par les engrais chimiques, divers insecticides et pesticides qui, non seulement polluent l'environnement, mais aussi, se retrouvent accumulées dans les produits agricoles.

Face à ces aléas, l'alternative la plus viable est «l'agriculture biologique», un mode de production qui repose sur un cahier des charges rigoureux dont les principaux fils conducteurs sont : pas de produits chimiques de synthèse ; pas d'organismes génétiquement modifiés (OGM). L'objectif principal est de réduire la famine, la pauvreté et l'insécurité alimentaire à travers des stratégies saines, moins coûteuses qui augmentent la fertilité des sols et les rendements agricoles, ainsi que la qualité des produits récoltés. Les stratégies sont nombreuses et diverses, et concernent l'utilisation des biofertilisants microbiens (*Rhizobium*, mycorhizes), pour améliorer la nutrition en éléments minéraux, dont la vigueur et la croissance des plantes ; la solarisation du sol qui stérilise et minéralise le sol ; l'utilisation des amendements organiques (compost, jus de compost), qui améliorent la structure et la fertilité du sol ; l'association des cultures (légumineuses-céréales) avec décalage pour permettre à la seconde culture (céréale) de profiter de l'azote fixé par la légumineuse ; le potentiel des insectes pollinisateurs pour augmenter le rendement ; l'utilisation des champignons entomophages pour lutter contre les insectes qui ravagent les fleurs.

Au Cameroun et dans la zone soudano-guinéenne en particulier, ces stratégies ont été appliquées avec succès sur les paramètres de croissance, de rendement et les caractéristiques physico-chimiques du sol et de production de nombreuses plantes dont : *Vigna unguiculata*; *Glycine ma*; *Vigna subterranea*; *Solanum tuberosum*; *Phaseolus vulgaris* and *Oryza* sp. En ce qui concerne la croissance, la taille, la biomasse et le nombre de ramifications ont été augmentés, alors que les paramètres de rendement comme le nombre de graines ou de fruits, le poids de 100 ou 1 000 graines et le rendement à l'hectare ont été améliorés, avec modification des caractéristiques physiques des graines (sphéricité, porosité, *bulk* and *true densities*).

Les résultats obtenus suggèrent que les biofertilisants microbiens, les amendements organiques, les bonnes pratiques culturales, les insectes pollinisateurs sont des outils indéniables de l'agriculture biologique pouvant remplacer les engrais chimiques, insecticides et pesticides de synthèse. À cet effet, l'agriculture biologique pourra être recommandée pour lutter contre la famine, l'insécurité alimentaire, et à long terme, réduire les émissions de gaz à effets de serre, et donc, les changements climatiques globaux.

# 1. Introduction

In Cameroon and in the Northern region in particular, cereals are considered as the basic food to human and animals. Although cereals provide important calories, they remain deficient in protein (Tien et al., 2002), which can be supplemented by legumes to complement their nutritional profiles in the diet. Legumes such as cowpea, soybean, groundnuts, constitute excellent sources of protein for a diet rich in cereals, because they can provide between 18 to 38% of proteins (Watier, 1982). They also play a critical role in natural ecosystems, agriculture, and agroforestry, where their ability to fix nitrogen through symbiosis makes them excellent colonizers, and economically friendly crop, pasture, and tree species. Legume-*Rhizobium* symbiosis results in adding plant available N into the soil system, contributing to 100-300 kg N fixed per ha and per year (Peoples et al., 1995). They also have positive effects on agriculture by recycling biologically fixed N<sub>2</sub>, enhancing nutrient uptake, reducing greenhouse gas emissions by decreasing N-fertilizer use, and breaking non-legume crop pest cycles (Zahran, 1999). Moreover, nitrogen from legume fixation is essentially “free” for use by the host plant, associated or subsequent crops (Kiers et al., 2003).

The overgrowing population in our developing countries is accompanied by hunger and food insecurity which are probably attributed to soil acidity, low soil fertility and cations exchange capacity, high iron and aluminium content, or improper agricultural practices. It is thus important to help these populations to consistently improve their soil physical and chemical properties, if full benefits from crops are to be achieved in terms of maximum yield and soil improvement. This implies several solutions’ options of which the use of chemical fertilizers is of great importance. Since low levels of soil available N and P fertilizers are common for the main cultures in tropical soils, application of P and N fertilizers are always necessary. However, they are toxic to human’s life and environment if misused, or are often expensive due to the lack of locally available resources.

Several friendly and non-hazardous alternatives to chemical fertilizers could be:

- the use of clear plastic for few months to trap solar radiations in order to raise the soil temperature sufficiently high enough to reduce the activity of micro-organisms, suppress or eliminate weeds and many soil pathogens at a depth of 10-20 cm in the so called “soil solarization process”;
- the inoculation of plants with specific strains of beneficial micro-organisms such as mycorrhiza and rhizobia (biofertilizers) that have a direct effect on plant growth and yield through nutrients mobilization;
- the use of compost or compost derivatives (compost tea), respectively as organic and foliar amendments to fertilize soils or control floral diseases;
- monitoring the time of intercropping model plants such as cereals and grain legumes to increase their yield;
- integrate the pollinating action of insects (*Apis mellifera adansonii*) to increase pollination, and thus crop yields;
- associating the entomophagous fungi (*Metarhizium anisopliae*) as mycoinsecticides against the major flowering insect *Megalurothrips sjostedti* to increase yield.

The integration of these strategies in agricultural practices will help in alleviating and reducing the use of chemical fertilizers, thus the pollution of environment, therefore, sustainably increase the crop production and reduce food insecurity in Cameroon.

The main objective of my research is to reduce hunger, poverty and food insecurity by setting up friendly, safe and low-cost strategies to increase the fertility of soil and improve crops yield, as well as their nutritional and physical properties. The specific objectives are intended to:

- assess the influence of solarization on soil nutrients availability and nutrient quality of harvested seeds from mycorrhiza-rhizobia-soybean symbiosis.
- assess the responses of mycorrhizal + rhizobial inoculation and mycopesticide as well as the on the physical characteristics of treatments-derived harvested plant seeds;
- investigate on the times of planting cowpea in association with maize in order to minimize the intercrop yield losses;
- enhance crop yield production through improved soil fertility by exploiting the rhizobial, mycorrhizal inoculation and soil solarization techniques;
- evaluate the influence of solarization and AMF in reducing the plant diseases and increasing yield;
- assess the interactions between plants and flowering insects, for their optimal management.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Description of the experimental site

Most of the experiments were conducted in Ngaoundéré located in the Adamawa province of Cameroon (latitude: 7°24.635'N; longitude: 13°32.827'E; altitude: 1091.49 m). The climate is of the sudano-guinea type, characterized by a rainy season (April to October) and a dry season (November to March). The annual rainfall is 1,479 mm, with a coefficient of variation of 9.8% (Yonkeu, 1993). The temperature ranges from 5°C to 7°C for the minima, and 30°C to 35°C for the maxima, while the average hygrometry varies from 37.7% to 81% (Mope Simo, 1997).

### 2.2. Biofertilizers and their application

The mycorrhizal inoculum purchased from the microbiology laboratory of the University of Yaoundé-I, Cameroon, was a mixture of sterile sand, mycorrhizal hyphae and spores of the genus *Gigaspora* spp. Inoculation consisted of adding prior to sowing to the planting holes of explants 10 g as a layer of inoculums. Yield was assessed by counting the number of tubers/pods harvested per plant then extrapolating to t/ha. The number of diseased tubers per *Solanum* plant was assessed at harvest on 15 plants per treatments.

Rhizobial inoculum for crop legumes made of *Rhizobium/Bradyrhizobium* sp. was purchased from the Microbiology Laboratory of the Biotechnology Centre, University of Yaounde I. Before inoculation, legume seeds were sterilized with 70% ethanol for 15 minutes, followed by three washes with tap water to remove traces of ethanol. Seeds (600 g) of each cultivar were coated with a mixture of 100 g of powder milk (Nido), 200 g inoculum, 200 ml tap water, and sown immediately at a rate of 2 seeds per stand.

The standard strain of *Metarhizium anisopliae* ICIPE 69 (International Center for Insect Physiology and Ecology) as biological control agent. The isolate was obtained under standard Material Transfer Agreement through the Biological control Center for Africa of the International Institute of Tropical Agriculture (IITA) in Cotonou, Benin. Standard material for testing consisted of dry spores powder (50 g) suspended in a mixture of cottonseed oil and kerosene at a ratio of 7/3 (v/v) as an ultra- low volume (ULV) formulation (Lomer et al., 1993; Lubilosa, 1997). Suspension was prepared the day of experiment. ULV treatments were applied in the field, using a hand-held spinning disc sprayer (Micro-ultra, Micron, UK) at a rate of 125 ml per 68 m<sup>2</sup> plot. It was applied thrice at 5-daily intervals from onset of flowering (Lomer et al., 1997). Spraying was done early in the day (7:00 - 9:00 am) to minimize wind disturbance.

## 2.3. Soil solarization process

Soil solarization was performed in the field by covering each plot with a (2.5 × 4.5) m clear polyethylene plastic sheet for a maximum of two. Trenches of approximately 5 cm deep were dug around the perimeter of plots and were used to bury the edges of the plastic (Katan, 1991). This was supposed to ensure that plastic is held in place and prevent heat from escaping and allowing wind to set beneath. To increase the transmission of heat through the soil and make other resting structures more sensitive to high temperature, soil was maintained smooth on the surface and wetted prior to solarization.

Compost was prepared from kitchen manures/cow dung, then composted treatments were inoculated the sowing date. Each *Solanum tuberosum* seed was sown on 50 g compost layed in sowing holes (Ngakou et al., 2008a).

## 2.4. Assessment of biological control of thrips

The population dynamics of thrips *Megalurothrips sjostedti* were determined by counting the number of adults and larvae in opened flowers collected at five day intervals. A total of 20 randomly selected flowers were sampled on the two edge rows of each replicate plot to avoid disturbance of thrips, and put into 25 ml plastic vial in 50% alcohol as described by Salifu, Singh (1987). This number of flowers was a realistic sample for statistical analysis (Tamò et al., 1993). Flowers were sampled between 08h00 and 10h30 to minimize loss of thrips flying off after disturbance (Taylor, 1969). Flowers were dissected in the laboratory and *M. sjostedti* larvae and adults were counted separately under a binocular stereomicroscope. Plants were sprayed thrice with *M. anisopliae* at 5 days interval. After the last spray two to three more flower collections were taken depending on the flowering cycle.

## 2.5. Statistical analysis

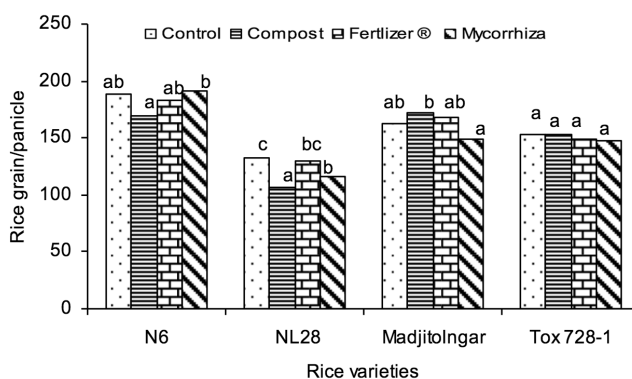
Data collected were subjected to analysis of variance (ANOVA) procedures. Means were separated between treatments with the Fisher's Least Significant Difference (LSD) test at 5% level of probability, using a Statgraphic Plus, version 5.0 (SIGMA PLUS) computer package. Comparisons were made between treatments of the same year. The Statistical Package for Social Sciences (SPSS) program was used to assess correlations between yield attributes of crops.

# 3. Results and discussion

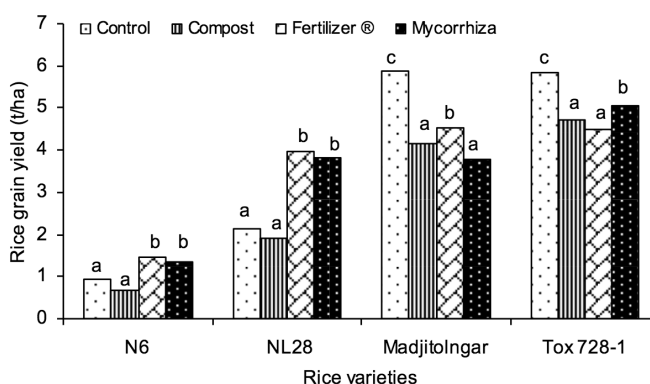
## 3.1. Application to rice: yield responses of rice varieties as influenced by types of fertilization

For the four rice varieties used, the number of grain per panicle was not affected by mycorrhiza as compared to the control (Figure 1). However, mycorrhiza significantly enhanced the number of grain per panicle compared to compost for Nerica N6, while for the local variety Madjitolngar, compost better increased ( $p = 0.03$ ) the number of grain per panicle than mycorrhiza. In contrast, the number of grain per panicle was not affected by the type of fertilization as far as the local variety TOX728-1 is concerned. The grain/panicle ratio of Madjitolngar variety was 0.60, 0.73 and 0.55%, respectively for treatments fertilizer @ mycorrhiza and control, suggesting that the acquisition of nutrients by the host plant positively impact the grains padding (Adama et al., 2008). It seems like the grain/panicle ratio increases with grain padding. Grain/panicle ratio of between 0.47 and 0.55 has been reported in field poor in nutrients (Chantereau, Kondombo, 1994). A positive and significant correlation was observed between the weight of grains per experimental unit and the grain yield expressed in

t/ha. Hence, for the two Nerica rice varieties, the grain yield/ha was significantly ( $p = 0.015$ ) more improved than that of the control and compost applied treatments when plants were inoculated with mycorrhiza at sowing or received thrice the fertilizer ® during their growth cycle (Figure 2). The results obtained from this figure are lower than previous results obtained on Nerica FKR62 grown in the guinea savannah zone of Cameroon, indicating 6.8 and 5.8 t/ha for mycorrhiza and fertilizer ® treatments, against 4.8 t/ha for the control treatment (Natebaye, 2010). However, the finding confirms the compatibility of mycorrhiza to Nerica rice varieties, but at a different degree in another growing area of the same agro-ecological zone.



**Figure 1.** Variation of rice grain per panicle within varieties as affected by types of fertilization. Bars with the same letter are not significantly different at 5%.



**Figure 2.** Variation of rice yield within varieties as affected by types of fertilization. Bars with the same letter are not significantly different at 5%.

In contrast, the type of fertilization did not have an effect on the grain yield of the two local rice varieties, with the control treatment exhibiting the highest yield than all the other treatments. For the local variety Madjitolngar the control yielded 5.86 t/ha against 4.53 t/ha, 4.16 t/ha, 3.78 t/ha for fertilizer ®, compost and mycorrhiza treatments. Similarly, treatment control significantly increased the grain yield of the local variety Tox728-1 (5.83 t/ha) more than treatments mycorrhiza (5.05 t/ha), compost (4.72 t/ha) and fertilizer ® (4.49 t/ha). However, suitable AM fungal inoculations for wetland rice varieties was reported to benefit the plants in terms of yield (grain and shoot), corresponding to half of the normal dose of phosphatic fertilizer (Gupta, Ali, 1993), in agreement with acceleration of N and P transfer from shoots and/or from soils to grains under flooded conditions by AMF (Solaiman, Hirata, 1995). Other results on the positive responses of upland rice plants (Gangopadhyay, Das, 1984; Iqbal et al., 1978), and many cereals including pear millet (Rao et al., 1983), maize (Lu, Miller, 1989) to AMF inoculation have been reported.

### 3.1.1. Influence of the type of fertilization on rice grain physical traits

The responses of local Tox 728-1 and Madjitolngar rice varieties to mycorrhiza inoculation were poor. Therefore, only the Nerica rice varieties were considered for characterization of physical seed traits. As indicated in table 1, mycorrhiza and compost significantly improved the geometric diameter of the two Nerica rice varieties compared to the negative control treatment.

Nerica N6 exhibited a greater diameter (0.68 and 0.69 cm) than Nerica NL28 (0.64 and 0.63 cm), respectively in response to mycorrhiza and compost applications. Moreover, compost amendment consistently enhanced the seed weight of N6 variety than the negative control, whereas for NL28 variety, fertilizer ® and mycorrhiza more improved the seed weight over the control. Like geometric diameter and seed weight, sphericity of Nerica N6 variety was improved by biological fertilizers (Mycorrhiza and compost), although these fertilizers did not affect the sphericity of Nerica NL28.

For the aforementioned parameters, Nerica N6 best responded to biological fertilizers and this differential responses in the two varieties might be attributed to their particular adaptation specificities. The enhancement of geometric diameter and sphericity of Nerica N6 variety by compost and mycorrhiza could be allocated to their positive effect on the length, minor and major diameters of seeds, with the understanding that these two seed traits are closely dependent to seed length and diameters. This finding is in agreement with other results obtained on cowpea seeds after dual inoculation with mycorrhiza and rhizobia in three agro-ecological zones of Cameroon (Ngakou et al., 2011). The mean values of sphericity for Nerica N6 (0.73) and Nerica NL28 (0.65) fall within the range of 0.32-1 reported for most agricultural products, including rice (Mohsenin, 1986; Lewis, 1990; Ashtiani et al., 2010). The improved rice seed weight attributed to compost and mycorrhiza could be explained by the performances of these two treatments on rice growth parameters.

Compost amendment positively affected the geometric volume of Nerica N6 seeds, while that of Nerica N28 was instead improved by mycorrhiza compared to the negative control. Our results line with those of Koocheti et al. (2007), who demonstrated the significant enhancement of geometric volume and densities of water melon seeds after compost amendment.

The true density of cereal grains is important to separate different impurities from them as the true density of cereal crops and most impurities widely differ. The analysis of variance showed that whereas the type of fertilization had no effect on the true density of Nerica N6, the true density of Nerica NL28 seed variety was significantly ( $p < 0.0001$ ) enhanced by mycorrhiza, compost and fertilizer ® (positive control) compared to negative control. Bulk density values are necessary in sizing hoppers and storage equipments of grains. They are also useful to determine the product mass or volume in the tank of combine harvester which itself is an appropriate parameter for yield monitoring in precision farming. Bulk density was consistently increased by mycorrhiza and compost for N6, and by fertilizer ® for NL28 rice variety, thus varies with the rice variety. This finding is supported by the results presented for Brazilian rice (Correa et al., 2007). A significant difference has been revealed between true and bulk densities of two tested rice cultivars (Ashtiani et al., 2010) with one of the cultivar exhibiting lower porosity as the consequence of higher bulk density.

The porosity of rice was not affected neither by the type of fertilization, nor by the seed variety. The mean values of porosity 0.8% of our Nerica rice varieties was very low compared to 47.41 to 48.85% for Sorkheh and Sazandegi, rice respectively (Ashtiani et al., 2010), and (64 to 66% for Brazilian varieties (Correa et al., 2007). This difference could be inherent to characteristics of varieties. It has been reported that excessive tillers, in particular initiated at later stage could result in increased difference in grain maturity within a plant (Counce et al., 1996). Therefore, the more the tillers for a plant, the greater the variation of grain quality within a plant, because the plant with more tillers has more chance of being subjected to different temperatures during grain filling. Hence, it is possible that rice quality will be deteriorated due to excessive tillers within a plant.



**Table 1.** Differences in Nerica rice grains physical traits as affected by types of fertilization.

Nerica varieties	Types of fertilization					p-value
	Control	Compost	Fertilizer ®	Mycorrhiza	LSD 5%	
Seed length (mm)						
Nerica N6	0.91 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.92 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.90 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.92 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	ns	0.721
Nerica NL28	0.93 <sup>ab</sup> <sub>a</sub>	1.00 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	0.96 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0.92 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.043	0.0006
LSD 5%	ns	0.074	0.058	ns		
p-value	0.367	0.0008	0.0008	0.984		
100 seed weight (g)						
Nerica N6	28.24 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	29.02 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	29.00 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	30.15 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	1.13	0.001
Nerica NL28	23.69 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	25.25 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	25.48 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	24.67 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0.986	0.0005
LSD 5%	4.55	3.76	3.51	5.47		
p-value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001		
Minor diameter (mm)						
Nerica N6	0.32 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0.35 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0.31 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0.33 <sup>ab</sup> <sub>b</sub>	0.025	0.001
Nerica NL28	0.216 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.23 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0.236 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0.22 <sup>ab</sup> <sub>a</sub>	0.019	0.01
LSD 5%	0.109	0.12	0.079	0.11		
p-value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001		
Geometric diameter (mm)						
Nerica N6	0.69 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0.68 <sup>ab</sup> <sub>a</sub>	0.64 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.66 <sup>ab</sup> <sub>b</sub>	0.053	< 0.031
Nerica NL28	0.60 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.64 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0.63 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0.60 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.029	< 0.0001
LSD 5%	0.095	ns	ns	1.73		
p-value	< 0.0001	0.080	0.425	< 0.0001		
Geometric volume						
Nerica N6	0.079 <sup>ab</sup> <sub>b</sub>	0.075 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.072 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.085 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0.01	0.05
Nerica NL28	0.061 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.128 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0.068 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.095 <sup>ab</sup> <sub>a</sub>	0.059	0.034
LSD 5%	0.018	ns	ns	ns		
p-value	0.0002	0.864	0.700	< 0.0001		
Bulk density (g/ml)						
Nerica N6	0.184 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0.188 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.185 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.192 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	ns	0.172
Nerica NL28	0.165 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.188 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.200 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.192 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	ns	0.172
LSD 5%	0.019	ns	0.014	ns		
p-value	0.006	0.161	0.026	0.656		
True density (g/ml)						
Nerica N6	0.816 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.972 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0.898 <sup>ab</sup> <sub>a</sub>	0.994 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0.155	0.022
Nerica NL28	1.24 <sup>c</sup> <sub>b</sub>	0.82 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.93 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	1.07 <sup>b</sup> <sub>a</sub>	0.136	< 0.0001
LSD 5%	0.425	0.144	ns	ns		
p-value	< 0.0001	0.033	0.405	0.271		
Sphericity						
Nerica N6	0.76 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0.75 <sup>b</sup> <sub>b</sub>	0.69 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0.71 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0.037	0.0005
Nerica NL28	0.65 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.64 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.65 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.65 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	ns	0.683
LSD 5%	0.12	0.11	0.04	0.06		
p-value	< 0.0001	< 0.0001	0.008	0.0005		
Porosity						
Nerica N6	0.007 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.007 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.00 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.007 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	ns	0.513
Nerica NL28	0.008 <sup>a</sup> <sub>b</sub>	0.007 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.007 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	0.010 <sup>a</sup> <sub>a</sub>	ns	0.280
LSD 5%	0.001	ns	ns	ns		
p-value	0.002	0.104	0.976	0.263		

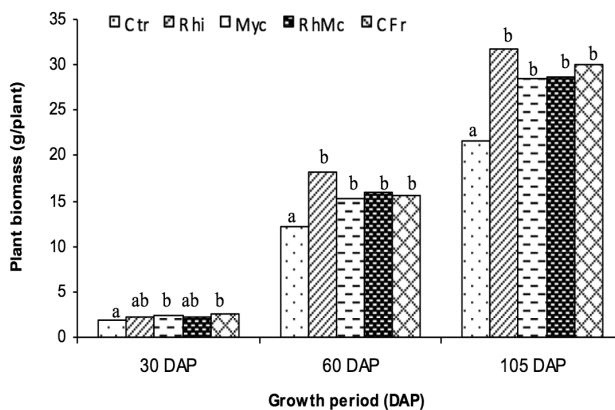
For the same type of fertilization and for each parameter, values on a column affected by the same letter as upper-subscript between the Nerica rice varieties are not significantly different at the level of significance considered. For the same Nerica rice variety and for each parameter, values on a row affected by the same letter as lower-subscript between treatments are not significantly different at the level of significance considered.



From our investigations, it appears that local rice varieties Madjitolngar and TOX728-1 are more adapted to their indigenous soils for the expression of their agro-morphological potentials. They may have established a mutualistic relationship with their native mycorrhiza fungi partners. Since mycorrhiza are not well distributed in soils of a given region or agro-ecological zone, improved yield of local rice varieties could be obtained if these native AMF are isolated, produced and coupled to a large scale production. Nevertheless, the biological fertilization with compost and mycorrhiza could be one of the best alternative approaches to be coupled to Nerica rice production, in order to achieve higher seed yield, better physical seeds qualities, with maximum economic return to population of this region.

### 3.2. Application to Vouandzou: influence of biofertilizers on growth parameters of *Vigna subterranea*

Plant biomass was assessed at 30, 60 and 105 DAP. Results on figure 3 indicate that treatments mycorrhiza and chemical fertilizers highly and significantly ( $p = 0.007$ ) increased the *Vigna subterranea* biomass at 30 DAP compared to negative control treatment. However, no significant difference was observed between treatments *Rhizobium* and *Rhizobium*+mycorrhiza for this parameter. At this stage, inoculation effect seems to be not yet well expressed. At 60 DAP the plant biomass was consistently greater than that of 30 DAP. The biomass of control plants was significantly ( $p = 0.005$ ) lower than that of other treatments. There was a positive and significant correlation ( $r = 0.37$ ;  $p = 0.01$ ) between the biomass and nodulation, suggesting that the plant biomass is closely dependent on nodulation. In other words, the most efficient are the root nodules, the higher is the nitrogen fixing ability of the host plant, and the greater is the plant biomass. At harvest (105 DAP), *Rhizobium*, mycorrhiza and the chemical fertilizers consistently ( $p < 0.0001$ ) enhanced the plant biomass more than the control. However, no significant difference was observed between the two biofertilizers and the chemical fertilizers, suggesting that the former can substitute the later in the alleviation of environmental pollution risks strategy. The enhanced biomass of inoculated plants has been attributed to increased nutrient uptake in co-inoculated plants by biofertilizers (Smith, Read, 1997; Ngakou et al., 2007; 2008b), or by dissolution and uptake of nutrients provided by chemical fertilizers (Kanabo, Gilkes, 1987). The dependence of biomass on nodulation was the result of a correlation between these two growing parameters, as previously reported by Ngakou et al. (2009), from pot experiment on four main grain legumes in Ngaoundere.



**Figure 3.** Plant biomass at different DAP as affected treatments. RhMc = *Rhizobium*+mycorrhiza; Rhi = *Rhizobium*; Myc = Mycorrhiza; CFr = Chemical fertilizers; Ctr = Negative control. Bars of the same DAP with the same letter are not significantly different at the level of probability considered

### 3.2.1. Yield attributes at harvest as affected by biofertilizers

Inoculation of *Vigna subterranea* plants with *Rhizobium* and/or mycorrhiza significantly ( $p < 0.0001$ ) enhanced the number and weight of pods at harvest as compared to the negative control and chemical fertilizer treatments (Table 2). The lowest number of pods per plant was produced by controlled plant (26), while the highest accounted for by *Rhizobium* + mycorrhiza inoculated plant (43). The number of pods per plant was significantly ( $p < 0.0001$ ) proportional to the plant biomass.

**Table 2.** Pod and seed yield as influenced by different treatments.

Yield parameters	Treatments						P value
	Ctr	Rhi	Myc	RhMc	Cfr	LSD	
Pod number (/plant)	26a	34b	32b	43b	24a	5.73	0.0001
Pod weight (g/plant)	122.01a	195.2b	181b	185.3b	136a	44.17	0.0001
Seed number (/plant)	22a	29b	28b	28b	27b	5.28	0.0001
Seed weight (g/plant)	18.01a	19a	18.1a	21.03b	19.4b	4.47	0.0002
100 Seeds dry weight (g)	58.02a	87.67b	83.3ab	98.76b	76.1ab	29.65	0.007
Seed yield (kg/ha)	524.25a	863.6b	867.3b	912.1b	902.2b	339.5	0.0006

Values of the column for a variable followed by the same letter are not significantly different at the level of probability considered. RhMc = *Rhizobium* + mycorrhiza; Rhi = *Rhizobium*; Myc = Mycorrhiza; Cfr = Chemical fertilizers; Ctr = Negative control.

The number of seeds per plant varied from 22 in un-inoculated to 29 in *Rhizobium* inoculated plants, and was consistently ( $p < 0.0001$ ) lower than in other treatments. The low number of seeds compared to pods per plant can be justified by the fact that some pods apparently well-formed had immature or aborted seeds. The seed weight varied from 18.01 g in uninoculated to 21.03 g in *Rhizobium* + mycorrhiza dual inoculated plants. Inoculation of *Vigna subterranea* seeds at sowing or application of chemical fertilizers significantly ( $p = 0.002$ ) improved the 100 seed weight compared to the negative control. The lowest seed yield of *Vigna subterranea* was obtained in un-inoculated treatment (524.05 kg/ha), while the highest was that of *Rhizobium* + mycorrhiza treatment (912.15 kg/ha).

The lower number of seeds/pod compared to that of pods/plant was attributed to seed abortion, reported to occur in *Vigna subterranea* under severe water stress (Vorasoort et al., 2003). The 100 seed weight of *Vigna subterranea* was lower than the average seed weight of 28.89 g/plant previously reported (Heller et al., 1997), but was also greater than 25.2 g and 48.33-55.64 g/100 seeds obtained respectively by Ofori et al. (2009), Yao et al. (2005) for the same crop, although it was lower than 72-86 g/plant reported by Karikari (2003) in some Bambara groundnut land races. The 100 seed weight may thus vary from one plant species to another, and for the same plant species from one variety to another, and with the growing conditions. The seed yield obtained from this research was closer to 300-800 kg/ha reported by Brink et al. (2006), but was higher than 130-470 kg/ha revealed by Heller et al. (1997). Higher yields in several inoculated plants have been reported to be attributed to improvement of nutrient uptake by several host plants (Megueni et al., 2006; Ngakou et al., 2006; 2007; 2008b).

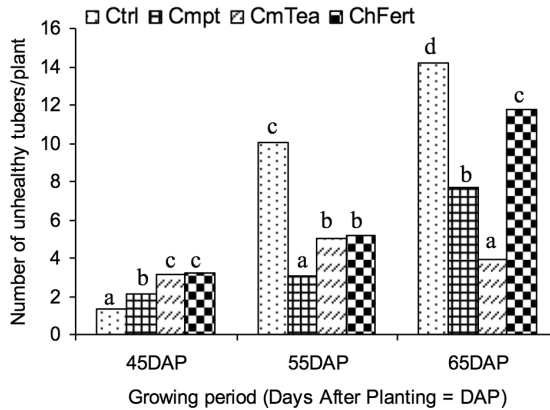
### 3.3. Application to *Solanum tuberosum*: impact of compost and compost tea on unhealthy tubers during plant growth stages

At 45 DAP, the number of diseased tubers was very low in all the treatments, but with a significant higher number from compost tea, compost and chemical fertilizer treated plants than the control (Figure 4). At 55 DAP in contrast, the number of diseased tubers in compost, compost tea and chemical fertilizer stabilized just below 6, while the control treatment suddenly show a significant greater

number of diseased tubers. At this stage, the number of diseased tubers from compost treatment was significantly lower than that of all the other treatments. At 65 DAP, the diseased tubers from compost tea treated plants were significantly lower than that of the other treatments, suggesting that some unhealthy tubers at 55 DAP in this treatment became healthy at 65 DAP, and thus were attributed to compost tea. In the meantime, the number of diseased tubers from the control and chemical fertilizer treatment continue to increase and remained significantly higher than that of compost and compost tea treatments. The number of diseased plants in the control, compost and chemical fertilizer increased with time but not at the same rate, and was always significant greater ( $p < 0.0001$ ) than in the two other treatments. The foliar application of compost tea instead contributed to a significant ( $p < 0.0001$ ) reduction of diseased plants compared to the other three treatments at 55 and 65 DAP.

### 3.3.1. Response of *Solanum tuberosum* plant to tuberisation as influenced by different treatments at harvest

Data in table 3 express the yield of *Solanum tuberosum* in term of number and weight (kg) of tubers per plant. Treatments compost, compost tea and chemical fertilizer significantly increased the number of healthy, and total number of tubers/plants as compared to the control ( $p < 0.0001$ ). In contrast, the number of diseased tubers in the control treatment was significantly greater ( $p < 0.0001$ ) than in other treatments. Similarly, the application of compost and compost tea significantly ( $p < 0.0001$ ) increased the weight of its tubers at harvest as compared to that of the control.



**Figure 4.** Influence of treatments on diseased tubers. Bars with different letters at a given day after planting (DAP) are significantly different (Tukey Kramer HSD). Ctrl: negative control; Cmpt: compost; CmTea: compost tea; ChFert: chemical fertilizer or positive control.

**Table 3.** Tuberization of *Solanum tuberosum* as influenced by different treatments.

Treatments	Number of tubers/plant			Dry weight of tuber/plant (kg)		
	HlyTbrs	DisTbr	TolTbr	HlyTbrs	DisTbr	TolTbr
Ctrl	8a	18c	29b	1.2a	3.93a	5.13a
Cmpt	24c	9ab	35c	8.93c	2.06a	10.96c
CmTea	14b	6a	20a	12.43d	2.7a	14.0d
ChFert	18b	11b	29b	4.63b	2.8a	7.43b
LSD	6.0	5.01	6.0	3.4	ns	2.3
p-value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	0.241	< 0.0001

Values followed by the different letters within a column for a given parameter are significantly different at 5%. Ctrl: negative control; Cmpt: compost; CmTea: compost tea; ChFert: chemical fertilizer or positive control; HlyTbrs: healthy tubers; TolTbrs: total tubers; DisTbrs: diseased tubers.

However, there was no significant difference ( $p = 0.241$ ) between the weight of diseased tubers harvested from treatments control, compost, compost tea and chemical fertilizer.

In this research, compost and compost tea were also assessed for their ability to control the disease and tuberization of potato. In general, these biological amendments can effectively deliver micro-organisms to natural soils, resulting in a wide variety of effects on soil microbial communities. Our results revealed that the use of compost tea differs significantly from the use of solid compost to suppress potato diseases.

The difference between the use of soil applied compost and compost tea has been reported to be the immediate control of surface spreading pathogens, while soil compost acts more slowly over a longer period of time. Furthermore, the quantities required to effect control are significantly less for compost tea than compost (Brinton, 1995). Similar to other results obtained by Tränkner (1991), compost tea may act directly in varying degrees to suppress both the growth and plant pathogenic organisms. The primary source of effects observed with compost tea has been reported to be apparently of living micro-organisms. In other words, active biological control is apparently responsible for the positive effects observed for compost tea. Not only this, the compost must be of high quality as reported by Brinton (1995) in order to expect the awaited positive effects. Compost tea may exert its influence in the so called phyllosphere through a coating with live micro-organisms most of which have been revealed to be of the genus *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Penicillium*, *Trichoderma* (Brewer, Larkin, 2005; Larkin, 2005), *Sporobolomyces*, as well as chemical antagonists such as phenols and amino acids (Weltzin, 1990). In this context, non-aerated compost tea was reported to significantly inhibit the mycelial growth of *Botrytis cinerea* (57–75%), and *Phytophthora infestans* (100%) (Souleymane et al., 2010), whereas sterilized teas did not inhibit growth of the tested pathogens.

The chemical fertilizer used in this experiment as positive control was a composite of N, P and K in a ratio 20:10:10 (w/w/w), lacking living organisms, or some chemicals such as siderophores, pseudobactins, pseudomycins produced by composting organisms, and that exert a powerful chemical suppressive effect on plant pathogens (Potera, 1994). This justifies why some responses attributed to compost tea and compost were significantly greater than those of the chemical fertilizers. These findings are in agreement with research results that have revealed that foliar feeding is more efficient than soil fertilization in adding micronutrients under arid and semi-arid conditions (El-Fouly, Rezk, 1986). In many reported cases, pathogens have been controlled by compost tea to levels similar if not better than conventional fungicidal treatment (Tränkner, 1991).

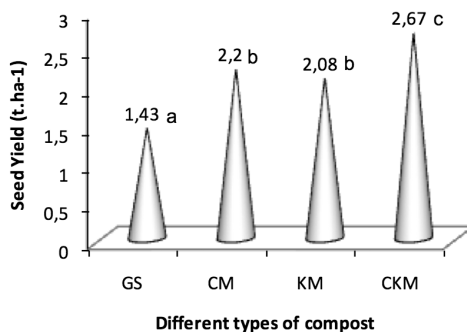
Results obtained from this study suggest that compost and compost tea significantly reduce the disease symptoms on potato plants in the field, resulting in an increased tuberization at harvest, in agreement with potential of arbuscular mycorrhiza fungi to reduce the diseased plants and tubers of Irish potato (Yao et al., 2002; Ngakou et al., 2006). The disease reduction observed was reported to be not necessarily associated with higher microbial population or activity, but most likely to the specific kind of changes produced within the microbial communities (Larkin, 2008), or the improvement of soil health and productivity (Xu et al., 2000). However, we believed that an increased understanding of compost tea microbiology, the survival and interactions of microbes on plants surfaces should make it possible to modify compost tea production practices and application technology to deliver micro-organisms that optimise pathogen suppression via multiple mechanisms of action.

### 3.4. Application to *Phaseolus*: *Phaseolus vulgaris* yield response to cattle and kitchen manures derived composts

Amending plots with cattle or kitchen manures derived compost consistently increased the *P. vulgaris* L. seed yield at maturity by 1.53, 1.43 and 1.86 folds, respectively for

treatments CM, KM and CKM compared to that of the control as indicated in figure 5. The improved *P. vulgaris* seed yield by CM, KM, CKM derived composts corroborate with yield from grass and legume–grass forage production (Lynch et al., 2004), and are slightly higher than those reported from amended common bean yield in America (FAO, 2006). The improved growth of *P. vulgaris* in CM, KM and CKM plots can account for increased pH as the result of amendment of plots with compost. Similar results were obtained in potato amended with mushroom compost and straw mulch (Gent et al., 1998). The improved plant growth have been attributed to enhanced humic acid in compost, that may act by making oligo-elements more available to plants (Chen et al., 1994; Zinati et al., 2001). The differences in seed yield between the treatments may be due to differences in qualitative properties of compost types.

From science-based evidence, the time-course of composting parameters and the physico-chemical properties of the end product varied with the source and quality of wastes. Integrating compost in agricultural system in the region may reduce the risk of soil nutrient deficits and moderate the losses in crop yield and quality. Further research will be emphasized on the potentials of this organic fertilizer on reduction of *P. vulgaris* diseases, the long-term benefits of compost to the soil-plant system, as well as the diversity and enzymatic activities of micro-organisms within the compost.



**Figure 5.** Influence of compost types on *Phaseolus vulgaris* L. production in the field.

GS: growing soil or control compost; CM: compost from cattle manure; KM: compost from kitchen manures; CKM: compost from CM and KM manures. Values followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

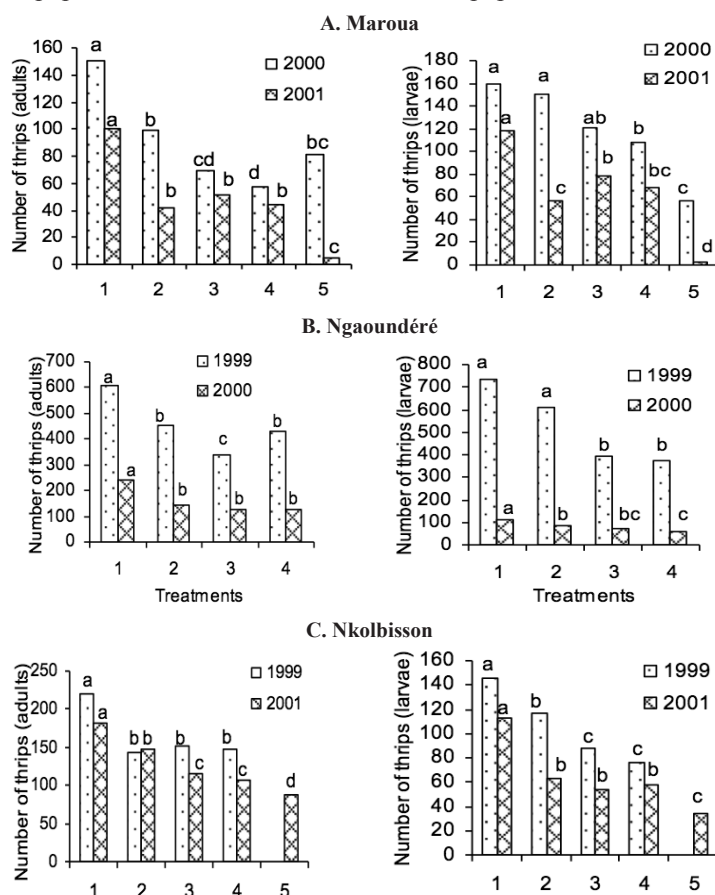
### 3.5. Application to cowpea: intercropping, flowering insects and biological control of cowpea thrips by AMF + rhizobia inoculation, *Metarhizium* or Deltamethrin spray

#### 3.5.1. Biological control of cowpea thrips by AMF + rhizobia inoculation, *Metarhizium* or Deltamethrin spray

Thrips infestation was generally higher in the first than the second year in each of the three agroecological zones, and was associated with the flowering cycle of the cowpea crop. The crop average number of thrips adult and larvae on control plots were also significantly different ( $p < 0.001$ ) from those of other treatments (Mycorrhiza/rhizobia, Mycorrhiza/rhizobia/*Metarhizium*, *Metarhizium*, and insecticide) during the two cropping seasons in each agroecological zone. Population counts in the control treatments were generally higher than those of treatments *Metarhizium*, Mycorrhiza/rhizobia, Mycorrhiza/rhizobia/*Metarhizium*, while those of treatment insecticide were lowest in each of the three agroecological zones (Figure 6).

In sudano-sahelian zone, treatments *Metarhizium* and Insecticide induced a reduction of *M. sjostedti* adults by 34 and 46% (2000), and 58 and 95% (2001), respectively, as compared

to the control. Similarly, thrips larvae were also affected in the same manner by treatments insecticide and *Metarhizium*. The reduction of both adults and larvae of *M. sjostedti* caused by treatments mycorrhiza/rhizobia and mycorrhiza/rhizobia/*Metarhizium* were also significantly different than the control, but varied between cropping seasons. As illustrated in the figure 6A, adult thrips population in the unsprayed treatment (control) during the 2,000 cropping season reached two peaks at 56 and 66 DAP whereas the only peak attained by larvae was observed at 56 DAP. For the 2001 season, two major peaks were observed, at 41 and 71 DAP for the adults, and at 41 and 56 DAP for the larvae. The Guinea-Savanna (Ngaoundéré) recorded the highest thrips population counts of all the sites. Treatment mycorrhiza/rhizobia caused the highest reduction of the adults *M. sjostedti* population (44% and 49% in 1999 and 2000, respectively), followed by treatments mycorrhiza/rhizobia/*Metarhizium* and *Metarhizium* (Figure 6B). During the 1999 cropping season, the larvae and adults thrips abundance curves in the control treatment reached a single peak at 61 DAP, whereas in 2000 there was no distinct peak for adults population, but a clear one for the larval population at 66 DAP.



**Figure 6.** Control of *Megalurothrips sjostedti* by *Metarhizium anisopliae*, mycorrhiza and rhizobia in sudano-sahelian (A. Maroua), Guinea-savannah (B. Ngaoundéré) and humid-forest (C. Nkolbisson) zones. Bars followed by different letters within a year are significantly different at  $P < 0.05$ . Treatment 1: non-inoculated seeds, plants unsprayed – Treatment 2: non-inoculated seeds, plant sprayed three times with *M. anisopliae* – Treatment 3: seeds co-inoculated at sowing with AMF and rhizobia, plants unsprayed – Treatment 4: seeds co-inoculated at sowing with AMF and rhizobia, plant sprayed three times with *M. anisopliae* – Treatment 5: non-inoculated seeds, plant sprayed three times with the insecticide Deltamethrin.



The lowest thrips population counts were recorded in the humid forest zone (Nkolbisson), where treatment insecticide contributed to 36% reduction of adult and 52% reduction of larvae during the 2001 season. Similarly, treatments mycorrhiza/rhizobia/*Metarhizium* reduced adult thrips counts by 33% in 1999 and 49% in 2001, while each of treatments *Metarhizium*, mycorrhiza/rhizobia, and mycorrhiza/rhizobia/*Metarhizium* consistently contributed to a substantial reduction (range 31-52%) of thrips larvae in 2001 (Figure 6C). During the 1999 cropping season adults and larvae thrips populations in the unsprayed control reached a peak at 56 DAP and 61 days after planting (DAP), respectively, whereas in 2001 two peak each for adults (36 and 51 DAP) and larvae (41 and 51 DAP) were observed.

Overall, thrips population densities were lowest in synthetic insecticide (treatment insecticide), followed by different microbial combinations (*Metarhizium*, mycorrhiza/rhizobia, mycorrhiza/rhizobia/*Metarhizium*), and highest in the control plots. Using the same application method (ULV sprayer), the ICIPE69 strain of *M. anisopliae* has been reported to reduce *M. sjostedti* densities in a range of 33-49% in field trials conducted in Western Kenya (Ekesi et al., 1998), which compare positively with our observations. However, it needs to be mentioned that higher mortalities (up to 77%) were achieved during the Kenyan experiment using a high volume (HV sprayer) of aqueous formulation, possibly because the HV sprayer method reached thrips feeding sites more efficiently, thus enhancing direct contact of the pathogen with the thrips. The fungus remained active in the field for about 3-4 days and effective management of thrips was achieved timing one application at flower bud stage and two applications at flower stage. The synthetic insecticide used in our trial (Deltamethrin) has proved to be effective against a wide range of cowpea pests including thrips, lepidopteran pod borers, and pod sucking Hemiptera (Nampala et al., 1999; Adipala et al., 2000; Isibikalu et al., 2000; Oparaeke et al., 2005). Hence Deltamethrin application might have controlled all other cowpea pests as well, thus giving an additional yield boost at harvest, as compared to thrips-specific treatment such as *M. anisopliae*. The population densities of adult and larvae of *M. sjostedti* were lower in metarhizial, AMF/rhizobia, and insecticide treated plots than non-inoculated and unsprayed control, suggesting that the synthetic insecticide Deltamethrin was more effective in reducing the thrips population. It was possible to understand from the population dynamic studies that the behaviour of thrips varies from one agroecological zone to another during the growing cycle of cowpea crop. This may serve as an indicator to farmers and researchers within agroecological zones in determining the highest infestation period for applying the control measures if they wish to obtain maximum grain yield benefit at harvest.

While infestation of *M. sjostedti* by *M. anisopliae* was reported to occur by direct penetration of the host exoskeleton or cuticle (St Leger et al., 1991), the mechanism underlying the control of thrips population by rhizobia and AMF is yet to be investigated and elucidated. One of the suggested mechanisms may be through the stimulation or induction of plant defence compounds, as it has been studied in the case of the interactions with plant pathogens (Cordier et al., 1998). Preliminary observations by Nana Wakam et al. (2003) reported a reduction of the overall level of phenolic compounds in seed AMF and rhizobia co-inoculated cowpea plants, but at the same time they noticed a quantitative increase in the number of phenolic compounds. This high variability within adults and larvae population can be explained by the non-homogenous distribution of insects feeding on flowers. This can also be attributed to environmental factors such as wind, rainfall or other large size insects or animals, though the flowers were collected between 07h00 and 09h00 to minimize as much as possible these factors. In our study, the synergistic effect of AMF and rhizobia may have further strengthened plant development, thus helping the plant to tolerate thrips attack.

### 3.5.2. Activity of bee pollinators on cowpea yield

The bee *Apis mellifera adansonii* was reported to rank first among insect species found to visit cowpea flower in the field, and contributed to 11.20% increased fructification through



pollination (Tchuenguem et al., 2009). The improved pod and seed yield of *V. unguiculata* attributed to *A. m. adansonii* (Table 4) can be vindicated by the activity of honey bee workers either on autopollination and/or on cross-pollination of visited flowers. The most important yield (length of pods, size of seeds, biomass of healthy seeds, number of healthy pods, percentage of abortive seeds in pods) recorded in non-protected inflorescences can be attributed to the important role of the pollinating insects. The plants that were exposed to pollinators provided more pods per plant, more seeds per pod with the heavier seeds and of better shape than the protected plants, in agreement to previous results reported on soybean (Benachour et al., 2007).

**Tableau 4.** Cowpea yields in lot 1 (unprotected flowers) and lot 2 (protected flowers).

Yield parameters	Treatments			
	Unprotected inflorescences	Protected inflorescences	p-value	LSD (5%)
Number of seed/pod	15b	10a	< 0.0001	5.78
Seed Length (mm)	37.07b	35.06a	< 0.0001	2.00
Dry weight seed/pod (g)	0.166b	0.124a	< 0.0001	0.041
Healthy seeds/pod	15.46b	9.68a	< 0.0001	5.79
Abortive seeds/pod	0.31a	3.03b	0.0005	2.71
Healthy seeds weight/pod (g)	2.18b	0.78a	< 0.0001	1.39
Pod weight (g)	3.14b	1.16a	< 0.0001	1.97
Pod Length (cm)	19.75b	11.71a	< 0.0001	8.04

Values in the same row followed by the same letter are not significantly different at 5% level.

### 3.5.3. Intercropping cowpea with maize

Intercropping cowpea with maize through simultaneous culture system was revealed to contribute to enhancement of both cowpea and maize yield (Gandebe et al., 2010).

Cowpea planted as pure culture (treatment  $T_0$ ), simultaneously with maize (treatment  $T_1$ ) or with 2 weeks delay after maize (treatment  $T_2$ ) significantly improved cowpea and maize yields than cowpea planted 4 weeks after maize (treatment  $T_3$ ). Whereas, the pure maize culture increased the maize yield more than the simultaneous cowpea-maize culture during the first year, there was no significant difference between the maize yields from treatment  $T_0$  and  $T_1$  during the second cropping year (Table 5). Similar yield increment was obtained from intercropping cereal crops with forage legumes (Mpairwe et al., 2002; Ngongoni et al., 2007), or with grain legumes (Mohammed et al., 2008). Maize yields were on the other hand not significantly affected by the inclusion of cowpea. This is because of the height advantage it has compared to cowpea.

**Table 5.** Effect of the time of planting on yields of cowpea and maize at harvest.

Treatments	Yield of cowpea				Yield of maize	
	Year 2007		Year 2008		Year 2007	Year 2008
	Var A2214	Var IT97K	Var A2214	Var IT97K		
$T_0$	44.48 <sup>c</sup>	32.19 <sup>bc</sup>	30.62 <sup>b</sup>	37.92 <sup>c</sup>	459.53 <sup>c</sup>	481.56 <sup>c</sup>
$T_1$	35.16 <sup>c</sup>	39.88 <sup>c</sup>	29.14 <sup>b</sup>	44.33 <sup>c</sup>	440.77 <sup>b</sup>	458.69 <sup>c</sup>
$T_2$	21.66 <sup>b</sup>	23.11 <sup>b</sup>	15.79 <sup>a</sup>	23 <sup>b</sup>	387.17 <sup>a</sup>	388.99 <sup>b</sup>
$T_3$	11.07 <sup>a</sup>	8.99 <sup>a</sup>	9.23 <sup>a</sup>	11.8 <sup>a</sup>	282.25 <sup>a</sup>	285.75 <sup>a</sup>
LSD 5%	10.59	14.11	13.35	11.19	53.6	69.7

$T_0$ : treatment in which cowpea was planted as sole crop;  $T_1$ : treatment in which cowpea and maize were planted simultaneously;  $T_2$ : treatment in which cowpea was planted 2 weeks after maize;  $T_3$ : treatment in which cowpea was planted 4 weeks after maize. Values of a variety for a growing year follow by the same letter are not different at 5% level of significance.

## 4. Conclusion

From our different studies, there is no doubt that developing countries are still dependent on chemical fertilizers from the North as far as agricultural production is concerned. However, we believe through these studies that development of the aforementioned biological agriculture strategies are sustainable tools to boost our agriculture both in quality and quantity, thus, enabling alleviation of hunger and reduction of food insecurity in our sub-Saharan African countries.

## Bibliography

- Adama B., Alkassoum M., Hamado S., Moumini S., 2008. *Evaluation of the biophysical and socio-economic impacts of investments for actions of managing natural resources in the North plateau central of Burkina Faso*. Report of synthesis. 94 p.
- Ashtiani H.A., Sadeghi M., Hemmat A., 2010. Physical properties of two rough rice varieties affected by moisture content. *International Agrophysics*, **24**, 205-207.
- Benachour K., Louadi K., Terzo M., 2007. Role of wild and domestic bees (Hymenoptera: Apoidea) in the pollination of *Vicia faba* L. var. *major* (Fabaceae) in the Constantine region (Algeria). *Annales de la Société Entomologique de France*, **43**(2), 213-219.
- Brewer M., Larkin R.P., 2005. Efficacy of several potential biocontrol organisms against *Rhizoctonia solani* on potato. *Crop Protection*, **24**, 939-950.
- Brinton F.W., 1995. The control of plant pathogenic fungi by use of compost tea. *Biodynamics*, **197**, 12-15.
- Brink M., Ramolemana G.M., Sibuga K.P., 2006. *Vigna subterranea* (L.) Verdc. In: Brink M., Belay G. (eds). *PROTA 1: Cereals and Pulses/Cereals and dried legumes*. PROTA, Wageningen, The Netherlands, 241-246.
- Chantereau J., Kondombo C., 1994. Estimation of the allogamy rate in sorghum of Guinea race. In: Menyonga J.M. (ed.). *Progres in food grain research and production in semi-arid Africa*. SAFGRAD, Ouagadougou, p. 309-331.
- Chen Y., Magen H., Riov J., 1994. Humic substances originating from rapidly decomposing organic matter: properties and effects on plant growth. In: Senesi N., Miano T.M. (eds). *Humic substances in the global environment and implications on human health*. Elsevier Science, Amsterdam, 427-445.
- Cordier C., Pozo M.J., Barea J.M., Gianinazzi S., Gianinazzi-Pearson V., 1998. Cell Defense Responses Associated with Localized and Systemic Resistance to *Phytophthora parasitica* Induced in Tomato by an Arbuscular Mycorrhizal Fungus. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, **11**, 1017-1028.
- Correa P.C., Schwanz D.S.F., Jaren C., Afonso J.P.C., Arana I., 2007. Physical and mechanical properties in rice processing. *Journal of Food Engineering*, **79**, 137-142.
- Counce P.A. et al., 1996. Panicle emergence of tiller types and grain yield of tiller order for direct-seeded rice cultivars. *Field Crops Research*, **47**, 235-242.
- Ekesi S., Maniania N.K., Ampong-Nyarko K., Onu I., 1998. Potential of the entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin for control of the legume flower thrips, *Megalurothrips sjostedti* (Trybom) on cowpea in Kenya. *Crop Protection*, **17**, 661-668.
- El-Fouly M.M., Rezk A.J., 1986. Micronutrient status of some food crop increasing yield through micronutrient foliar application in Behira-Egypt. In: Alexander A. (ed.). *Foliar Fertilization. Proceedings of the First International Symposium on Foliar Fertilization, Organized by Schering Agrochemical Division. Special Fertilizer Group, Berlin (FRG) March 14-16, 1985*, p. 153-166.
- FAO, 2006. *Republic of Tunisia. Ministry of agriculture and hydric resources. General office of agricultural production. Converting biological agriculture*. DGPA/FAO/FIBL, Rome, p. 4-33.
- Gandébé M., Ngakou A., Amougou Tabi I., Amougou A.F., 2010. Altering the time of intercropping cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) relative to maize (*Zea mays* L.): A food production strategy to increase crop yield attributes in Adamawa-Cameroon. *World Journal of Agricultural Sciences*, **6**(5), 473-479.

- Gangopadhyay S., Das K.M., 1984. Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhiza and rice roots. *Indian Phytopathology*, **35**, 34-38.
- Gent M.P.N., Elmer W.H., Stoner K.A., Ferrandino F.J., LaMondia J.A., 1998. Growth, yield and nutrition of potato in fumigated or non-fumigated soil amended with spent mushroom compost and straw mulch. *Compost Science and Utilization*, **6**, 45-56.
- Gupta N., Ali S.S., 1993. VAM inoculation for wetland rice. *Mycorrhiza News*, **5**, 5-6.
- Heller J., Begemann J.H., Mushonga J., 1997. *Bambara groundnut Vigna subterranea (L.) Verdc. Proceeding of the workshop on conservation and improvement of bambara groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc.), 14-16 November 1995, Harare, Zimbabwe*. IPGRI, Rome. 166 p.
- Iqbal S.H., Tauquir S., Ahmad J.S., 1978. The effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal associations on growth of rice (*Oryza sativa* L.) under field conditions. *Biologia (Pakistan)*, **24**, 357-365.
- Isubikalu P., Erbaugh J.M., Semana A.R., Adipala E., 2000. The influence of farmer perception on pesticide usage for management of cowpea field pest in eastern Uganda. *African Crop Science Journal*, **8**(3), 317-325.
- Karikari S.K., 2003. A decade of bambara groundnut agronomic research at the Botswana College of Agriculture. *UNISWA Journal of Agriculture*, **12**, 24-28.
- Katan J., 1991. Solar heating (solarization) of soil control soilborn pests. *Annual Review of Phytopathology*, **19**, 211-236.
- Kiers E.T., Rousseau R.A., West S.A., Denison R.F., 2003. Host sanctions and the legume-*Rhizobium* mutualism. *Nature*, **425**, 78-81.
- Koocheki A. et al., 2007. Physical properties of watermelon seed as a function of moisture content and variety. *International Agrophysics*, **21**, 349-359.
- Larkin R.P., 2005. Influence of biological control agents and other biological amendments on soil microbial communities. *Phytopathology*, **94**, S56-S57.
- Larkin R.P., 2008. Relative effect of Biological amendments and crop rotation on soil microbial communities and soil born-diseases of potato. *Soil Biology and Biochemistry*, **40**, 1341-1351.
- Lomer C.J. et al., 1993. Field infection of *Zonocerus variegatus* following application of an oil based formulation of *Metarhizium flavoviride* conidia. *Biocontrol Science and Technology*, **3**, 337-346.
- Lomer C.J., Prior C., Kooyman C., 1997. Development of *Metarhizium spp* for the control of Grasshopper and Locusts. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, **171**, 165-286.
- Lu S., Miller R.H., 1989. The role of VA-mycorrhiza in the absorption P and Zn by maize in field and growth chamber experiments. *Canadian Journal of Soil Science*, **69**, 97-109.
- Lubilosa, 1997. *Green muscle, user Handbook*. CAB International, 1-12.
- Lynch D.H., Voroney R.P., Warman P.R., 2004. Nitrogen Availability from Composts for Humid Region Perennial Grass and Legume-Grass Forage Production. *Journal of Environmental Quality*, **33**, 1509-1520.
- Megueni C., Ngakou A., Makalao M.M., Kameni T.D., 2006. Relative responses of soybean (*Glycine max*) to soil solarization and rhizobial field inoculation at Dang Ngaoundere, Cameroon. *Asian Journal of Plant Science*, **5**(5), 832-837.
- Mohammed I.B., Olufajo O.O., Singh B.B., Oluwasemire K.O., Chiezey U.F., 2008. Productivity of Millet/Cowpea Intercrop as Affected by Cowpea Genotype and Row Arrangement. *World Journal of Agricultural Sciences*, **4**(S), 818-824.
- Mohsenin N.N., 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Press, New York, USA.
- Mope Simo J.A., 1997. *Annual report on the activities of provincial service of the communal development in Adamawa*. Ngaoundere, Cameroun, 95 p.
- Mpairwe D.R., Sabiiti E.N., Ummuna N.N., Tegegn A., Osuji P., 2002. Effect of intercropping cereal crops with forage legumes and source of nutrients on cereal grain yield and fodder dry matter yields. *African Crop Science Journal*, **10**(1), 81-97.
- Nampala P. et al., 1999. Integrated management of major field pests of cowpea in eastern Uganda. *African Crop Science Journal*, **7**, 479-486.

- Nana Wakam L., Nwaga D., Fokom R., Oneya S., Ngakou A., 2003. Variability of phenolic components in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Leguminosae) and influence of rhizobial and mycorrhizal inoculation champignon their biosynthesis. *African Journal Science and Technology*, **3**(2), 127-135.
- Natebaye D., 2010. *Contribution of Mycorrhiza to the production of two Nerica rice varieties (Oryza glaberrima × Oryza sativa) grown in the field at Dang, Ngaoundere, Cameroon*. Master thesis, Department of Biological Sciences, University of Ngaoundere, 42 p.
- Ngakou A., Megueni C., Mabong M.R., Djamba F.E., Gandebe M., 2006. *Solanum tuberosum* (L.) Responses to Soil Solarization and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Inoculation under Field Conditions: Growth, Yield, Health Status of Plants and Tubers. *Middle-East Journal of Scientific Research*, **1**(1), 23-30.
- Ngakou A. et al., 2007. Arbuscular-mycorrhizal fungi, rhizobia and *Metarhizium anisopliae* enhance P, N, Mg, K, and Ca accumulations in fields grown cowpea. *Journal of Plant Science*, **2**(5), 518-529.
- Ngakou A., Megueni C., Noubissie E., Tchuentcheu T.L., 2008a. Evaluation of the physico-chemical properties of cattle and kitchen manures derived compost and their effects on field grown *Phaseolus vulgaris* L. *International Journal of Sustainable Crop Production*, **3**(5), 13-32.
- Ngakou A. et al., 2008b. Changes in the physico-chemical properties of soil and harvested soybean seeds in response to soil solarization and bradyrhizobial inoculation. *Archives of Agronomy Soil and Science*, **54**(2), 189-202.
- Ngakou A., Megueni C., Ousseni H., Massai A., 2009. Study on the isolation and characterization of rhizobia strains as biofertilizer tools for growth improvement of four grain legumes in Ngaoundéré-Cameroon. *International Journal of Biology and Chemical Sciences*, **3**(5), 1078-1089.
- Ngakou A., Moctar M., Njintang Y.N., Tamò M., 2011. Some cowpea quality seed indicators as influenced by field application of selected biofertilizers and mycoinsecticide in three agroecological zones of Cameroon. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, **42**(11), 1277-1289.
- Ngongoni N.T. et al., 2007. Evaluation of cereal-legume intercropped forages for smallholder dairy production in Zimbabwe. *Livestock Research for Rural Development*, **19**(9), 128-136.
- Ofori K., Kumaga F.K., Tonyigah A., 2009. Morphological characterization and agronomic evaluation of bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) germoplasm in Ghana. *Plant Genetic Resource Newsletter; Biodiversity International, FAO*, **145**, 23-28.
- Oparaeke A.M., Dike M.C., Amatobi C.I., 2005. Evaluation of botanical mixtures for insect pests management on cowpea plants. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, **106**(1), 41-48.
- Peoples M.B., Herridge D.F., Ladha J.K., 1995. Biological nitrogen fixation: and efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. *Plant and Soil*, **174**, 3-28.
- Potera C., 1994. From bacteria: A new weapon against fungal infection. *Science*, **265**, 605.
- Rao Y.S.G., Bagyaraj D., Rai P.V., 1983. Selection of efficient VA mycorrhizal fungus for finger millet: I. Glass house screening. *Zentralblatt für Mikrobiologie*, **138**, 409-413.
- Salifu A.B., Singh S.B., 1987. Evaluation of sampling methods for thrips *Megalurothrips sjostedti* (Trybom) (Thysanoptera, Thripidae) on cowpea. *Bulletin of Entomological Research*, **77**, 451-456.
- Smith S., Read D.J., 1997. Mineral nutrition, heavy metal accumulation and water relation of VA mycorrhizal plants. In: Smith S.E., Read D.J. (eds). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London, New York, 127-160.
- Solaiman M.Z., Hirata H., 1995. Effects of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi in paddy fields on rice growth and N, P, K nutrition under different water regimes. *Soil Science and Plant Nutrition*, **41**(3), 505-514.
- Souleymane B.K., Dionne A., Russell J.T., Hani A., Tyler J.A., 2010. Suppressive effect of non-aerated compost teas on foliar fungal pathogens of tomato. *Biological Control*, **52**(2), 167-173.
- St Leger R.J., Goettel M., Roberts D.W., Staples R.C., 1991. Preparation of events during infection of host cuticle by *Metarhizium anisopliae*. *Journal of Invertebrate Pathology*, **58**, 168-179.

- Tamò M., Baumgärtner J., Gutierrez A.P., 1993. Analysis of cowpea monocropping system in West Africa. II. Modelling the interaction between cowpea and the bean flower thrips *Megalurothrips* (Trybom) Thysanoptera, Thripidae. *Ecological Modelling*, **70**, 89-113.
- Taylor T.A., 1969. Preliminary studies on the integrated control of the pest complex on cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp., in Nigeria. *Journal of Economic Entomology*, **62**(4), 900-902.
- Tchuenguem Fohouo F.N., Ngakou A., Kengni B.S., 2009. Pollination and yield responses of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) to the foraging activity of *Apis mellifera adansonii* (Hymenoptera: Apidae) at Ngaoundéré (Cameroon). *African Journal of Biotechnology*, **8**(9), 1988-1996.
- Tien H.H., Hien T.M., Son M.T., Herridge D., 2002. Rhizobial Inoculation and N<sub>2</sub> Fixation of Soybean and Mungbean in the Eastern Region of South Vietnam. In: Herridge D. (ed.). *Inoculants and Nitrogen Fixation of Legumes in Vietnam. Proceedings of a workshop held in Hanoi, Vietnam 17-18 February 2001. ACIAR Proceeding 109*. Canberra, Australia.
- Tränkner A., 1991. Phytosanitary effect of compost: seed and leaf treatments. *Leb. Arde*, **2**, 87-93.
- Vorasoot N., Songsri P., Akkasaeng C., Jogloy S., Patanothai A., 2003. Effect of water stress on yield and agronomic characters of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Science and Technology*, **25**, 283-288.
- Watier B., 1982. *Un équilibre alimentaire en Afrique. Comment?* Hoffman-La Roche F. (ed.) et Cie. Neuilly-Sur Seine, France. 30 p.
- Weltzin H.C., 1990. The use of composted materials for leaf disease suppression in field crops. In: *Crop Protection in Organic and Low-Input Agriculture*. BCPC Monographs No.45, British Crop Protection Council, Farham, Surrey, England, pp. 115-120.
- Xu H., Parr J.F., Umemura H., 2000. *Nature, farming and microbial applications*. Food product Press (Harworth Press), New York, 402 p.
- Yao M.K., Tweddell R.J., Desilets H., 2002. Effect of two vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of micropropagated plantlets of potato and the extend of diseases caused by *Rhizoctonia solani*. *Mycorrhiza*, **12**, 235-242.
- Yao D., Bonny B., Ire Zoro B.A., 2005. Preliminary observation of the variability between some morphotypes of voandzou (*Vigna subterranea* L. verdc., fabaceae) in Ivory coast. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, **9**(4), 249-258.
- Yonkeu S., 1993. *Pasture vegetation in Adamawa (Cameroon). Ecology and pasture potentials*. Doctorate Thesis. University of Rennes 1, France, p. 207.
- Zahrán H.H., 1999. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions in an arid climate. *Molecular Biology Review*, **63**(4), 968-989.
- Zinati G.M., Li Y.C., Bryan H.H., 2001. Accumulation and distribution of copper, iron, manganese and zinc in calcareous soil amended with compost. *Journal of Environmental Science and Health*, **36**(2), 229-243.



3

## **Innovations en agriculture**





## Jeter un pont entre les approches agro-écologiques et des technologies conventionnelles pour une agriculture africaine productive, compétitive et durable.

### Cas de l'Afrique sub-saharienne

Breman Henk, Terwolde, Pays-Bas, E-mail : [www.henkbreman.com](http://www.henkbreman.com)

#### Résumé

Une collaboration entre les promoteurs et les chercheurs de l'agro-écologie et de l'agriculture industrielle conventionnelle mène à une agriculture africaine productive, compétitive et durable, la base pour la sécurité alimentaire et le développement rural et économique. L'utilisation optimale d'engrais chimique, au lieu de l'utilisation minimale cherchée dans l'agro-écologie, grâce aux technologies diverses de la gestion intégrée de la fertilité du sol, devrait devenir le domaine de collaboration. Dans ce cadre, l'agroforesterie intensive est un système de production utile ; elle utilise l'arbre pour optimiser l'engrais, au lieu d'essayer d'éviter l'utilisation du dernier, comme fait l'agroforesterie extensive. Son intérêt pour l'Afrique sous-saharienne est grand, car la dégradation de l'environnement par la surexploitation du bétail peut être arrêtée et le besoin en bois énergétique peut être satisfait. Son introduction efficace nécessite cependant de la recherche pour préciser le niveau d'amendement organique afin d'optimiser l'utilisation des engrais chimiques, expliciter les conditions agro-écologiques et socio-économiques favorables et pour identifier les essences utiles pour une telle agroforesterie. Celle-ci peut présenter des particularités à considérer dans le cas de son adoption en zones cotonnières.

#### **Bridging agro-ecological approaches with conventional technologies for sustainable high productive and competitive African agriculture. The sub-Saharan African case**

Collaboration between promoters and researchers of agro-ecology and of conventional industrial agriculture can lead to productive, competitive and sustainable African agriculture, the basis for food security and for rural and economic development. Optimal use of chemical fertilizer, instead of minimal use promoted by the agro-ecology, through the various technologies of integrated soil fertility management, should be the domain for collaboration. In this context, intensive agroforestry is a useful production system. It uses trees for optimum fertilizer use, instead of using them to avoid the use of fertilizer as much as possible as in case of extensive agroforestry. Its interest for sub-Saharan Africa is high, because environmental degradation through overgrazing by livestock can be stopped and the need for fire wood can be satisfied. The introduction of intensive agroforestry requires, however, research. The level of organic soil amendments for optimum fertilizer use has to be determined, favorable agro-ecological and socio-economic conditions have to be defined, and useful tree species have to be identified. It is probable that adoption of intensive agroforestry for the cotton zones comes with particular requirements.

## 1. Introduction

À peu près un tiers de la population d'Afrique sub-saharienne (ASS) est sous-alimentée, et dans une bonne partie d'ASS, la croissance démographique dépasse encore la croissance agricole (e.g. Zuberi, Thomas, 2012). L'urbanisation rapide fait que les agriculteurs doivent nourrir une fraction croissante de la population non agricole. La dégradation des terres et leur désertification causent une perte sérieuse de terres agricoles, perte qui devrait être exacerbée par le changement climatique selon les modèles disponibles. Pour une autosuffisance

alimentaire, il suffirait peut-être de doubler les rendements ; par contre, les gains de rendement doivent être bien plus importants afin que les paysans puissent bien vivre de l'agriculture et que l'agriculture devienne un réel moteur du développement économique.

La dépendance de la biomasse végétale comme source énergétique dominante induit un problème additionnel à résoudre (AFREA, 2011). Il existe une compétition sérieuse pour l'utilisation de la terre entre production agricole et production énergétique, alors que la matière organique brûlée ne peut plus servir à l'amélioration de cette terre (Bremen, Kessler, 1995).

Pour résoudre ces problèmes, il faut combiner les meilleurs éléments de l'agriculture dite conventionnelle ou industrielle et ceux de l'agriculture biologique ou agro-écologique. C'est de cette façon que les rendements agricoles peuvent être augmentés suffisamment, tout en renforçant la production énergétique. L'utilisation à grande échelle des engrais chimiques semble inévitable, du fait de la pauvreté des sols de la région et de leur épuisement découlant de la surexploitation des ressources naturelles consécutive au surpeuplement. Il en découle que l'espace manque pour une agriculture biologique efficace car celle-ci exige trop d'espace pour produire du fumier (Bremen, 1990a ; Bremen, 2002).

Le manque de collaboration entre les promoteurs de différentes formes d'agriculture est responsable de la quasi-absence de recherche pour aborder conjointement l'agro-écologie et l'agriculture conventionnelle. Ce papier traite de quelques questions scientifiques auxquelles les chercheurs doivent répondre sans délai. Au préalable, l'analyse succinctement évoquée ci-dessus est approfondie afin de cerner la forme de l'agriculture apte à répondre aux besoins croissants.

## 2. Nourrir l'Afrique au sud du Sahara

Il y a trois questions cruciales relatives au futur de l'agriculture d'Afrique sub-saharienne, l'une d'elles étant assez spécifique de l'Afrique :

- 1. Comment produire sans délais plus de nourriture ? Comment atteindre une croissance agricole dépassant la croissance démographique, tout en faisant de l'agriculture un véritable moteur pour le développement socio-économique ?
- 2. Comment produire en même temps, au moins temporairement, nourriture et énergie à travers la production végétale ?
- 3. Comment réaliser de manière durable les deux objectifs précédents, en termes écologiques et économiques ?

La plupart des réponses recensées peut être classée globalement sous deux modes de production agricole :

- l'agriculture industrielle, caractérisée par l'utilisation d'intrants chimiques<sup>1</sup> et appelée auparavant HEIA (*high external input agriculture*) ;
- l'agro-écologie, une dérivée de ce qui était auparavant appelée l'agriculture biologique (de Schutter, 2010).

Les réponses de l'agriculture industrielle aux deux premières questions posées se résument respectivement à l'utilisation optimale des intrants externes et à la production de biocarburants. Celles de l'agrobiologie se ramènent à l'optimalisation des intrants locaux et agroforesterie. Quant à la troisième question de durabilité, l'agriculture industrielle et l'agro-écologie n'y répondent que de manière partielle, respectivement par l'aspect économique ou écologique.

La question principale est de traiter de la possibilité de jeter un pont entre les approches agro-écologiques et celles de l'agriculture industrielle, en considérant des technologies dites

<sup>1</sup> Engrais chimiques, pesticides et carburants.

conventionnelles pour qu'elles contribuent à une agriculture africaine productive, compétitive et durable.

### **3. Jeter un pont entre deux modes agricoles : les principes**

#### **3.1. Exploiter la complémentarité de l'agro-écologie et de l'agriculture industrielle**

La possibilité de jeter un pont entre les approches agro-écologiques et celles de l'agriculture industrielle dépendra de la volonté des acteurs des deux groupes, ce qui dépendra du degré de synthèse des grands principes des deux approches pour concilier les idéaux respectifs. Les idéaux de l'agriculture industrielle correspondent à l'objectif de nourrir le monde entier de manière rentable pour les acteurs impliqués, avec une attention particulière pour les investisseurs. L'agro-écologie partage l'idéal de nourrir la planète, avec la préoccupation de la qualité nutritionnelle. Elle privilégie l'agriculture familiale, avec le souci de gestion de l'environnement et de la protection de la nature.

Le souci de bonne gestion de l'environnement de l'agro-écologie est un élément d'entente avec les acteurs de l'agriculture industrielle. Sans une attention plus grande pour la durabilité écologique de la production agricole, le bénéfice de ces acteurs va diminuer progressivement. De multiples signes d'une durabilité écologique restreinte de l'agriculture industrielle sont déjà observables : érosion et dégradation du sol, perte de fertilité physique et biologique du sol, salinisation, dessèchement ou submersion des sols.

De manière réciproque, une utilisation optimisée des intrants externes peut intéresser les acteurs de l'approche agro-écologique du fait des gains de rendement et de rentabilité pour réduire les besoins en terres agricoles. L'agro-écologie pâtit en effet de rendements moins élevés que ceux de l'agriculture industrielle, de coûts de production supérieurs par unité produite alors que le besoin en superficie est grand pour produire la quantité nécessaire de fumure organique (Bremner et al., 2007 ; Bremner, 2013).

#### **3.2. L'utilisation d'engrais dans un cadre de GIFS**

L'utilisation des engrais<sup>2</sup> chimiques dans un cadre de gestion intégrée de la fertilité du sol (la GIFS) illustre jusqu'à présent la meilleure tentative pour combiner des éléments essentiels de l'agro-écologie et de l'agriculture industrielle. Dans leur définition détaillée de la GIFS, Vanlauwe & Zingore (2010) mettent l'accent sur les objectifs d'amélioration de la productivité agricole et de maximisation de l'efficacité d'utilisation des engrais inorganiques et des fumiers. En ajoutant que tous les intrants doivent être gérés suivant des principes agronomiques sains, la durabilité écologique et économique est ainsi prise en compte. Cette vision recoupe mes premières publications sur la question (e.g. Bremner, 1990a), en soulignant que les objectifs mentionnés requièrent que i) les intrants externes s'ajoutent aux intrants internes (locaux) et renforcent les processus naturels mis en œuvre, au lieu de les remplacer, et que ii) la nutrition des cultures et le soin du sol soient considérés simultanément. On peut ajouter aujourd'hui que l'utilisation des engrais chimiques ne doit pas être minimisée mais optimisée, ce qui suppose de mobiliser des doses considérables pour plusieurs raisons (Bremner, 1990a ; Bremner, Sissoko, 1998) :

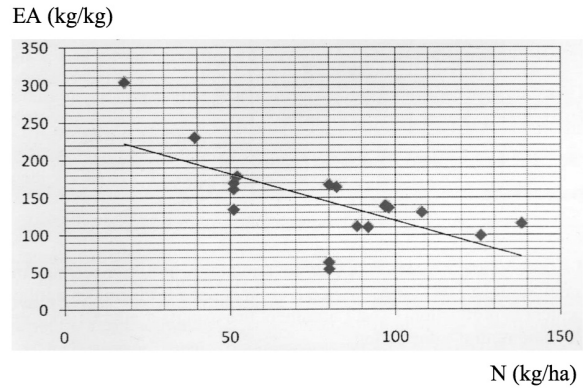
- même en Afrique, la densité démographique est déjà telle que l'espace manque pour produire suffisamment de fumure organique ;

---

<sup>2</sup> Dans cet article, "engrais", "engrais chimique" et "engrais inorganique" sont synonymes.

- l’efficacité d’utilisation d’engrais est et reste restreinte<sup>3</sup> par des rapports élevés et défavorables de C/N, C/P et C/K de la matière organique (MO) du sol, lorsque les engrais chimiques sont utilisés à doses réduites ;
- en conséquence l’utilisation d’engrais et donc la production agricole ne sont pas compétitives<sup>4</sup>.

En améliorant l’état de la MO du sol d’une façon quantitative et qualitative, la GIFS double l’efficacité agronomique de l’engrais et améliore significativement ses bénéfices financiers. De plus, le risque de pertes d’engrais vers l’environnement diminue (IFDC, 2005). L’objectif de la GIFS de maximiser l’efficacité agronomique des nutriments exige d’opter à bon escient pour des doses dans la partie droite de la courbe dose/effet (Figure 1, cas de la pomme de terre au Rwanda), de sorte que la maximisation des bénéfices économiques ne nuise pas à la durabilité écologique. Pour maximiser en pratique les rendements de cultures, il faut recourir aux formules d’engrais spécifiques par culture et par région en tenant compte des autres composantes adéquates de la GIFS (van Keulen, 1982 ; Breman et al., 2012). Ce faisant, on évite que la partie droite des courbes dose/effet se limite aux doses restreintes (Tableau 1). En visant à augmenter les doses, les formules d’engrais devront être plus complexes pour maintenir une efficacité agronomique élevée (Breman et al., 2012).



**Figure 1.** Évolution de l’efficacité agronomique en fonction de la dose de N sur la pomme de terre.

**Tableau 1.** Efficacité agronomique (EA) de l’effet d’azote, en apport combiné avec P et P+ K sur le rendement de la pomme de terre au Rwanda.

Eléments fertilisants	N	N+P	N+P+K
N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O	98-0-0	98-51-0	98-51-48
Nombre d’observations	24	24	24
Rendement moyen (t/ha)	20,7	24,3	26,2
EA (kg/kg) <sup>1)</sup>	68	102	118
Augmentation en % de l’EA (par rapport à N seul)	-	50	73
Augmentation en % de l’EA (par rapport à N+P)	-	-	16

<sup>1</sup> L’EA a été calculé sans tenir compte de l’azote de la matière organique ; le témoin utilisé est celui avec matière organique.

<sup>3</sup> L’utilisation d’engrais chimique est généralisée après la 2<sup>ème</sup> Guerre Mondiale, particulièrement aux États-Unis et en Europe. Il a fallu une vingtaine d’années pour observer le doublement de l’efficacité d’utilisation d’engrais. Récemment, ce doublement n’a pris que 5 ans dans le projet GIFS de l’IFDC en Afrique de l’Ouest grâce à la connaissance et l’expérience accrues de l’amélioration de la fertilité du sol (IFDC, 2005).

<sup>4</sup> Il faut savoir que les frais de production extensive par kg de produit peuvent être le double de ceux de la production intensive.

Utiliser de l'engrais dans un cadre de la GIFS implique que ce sont les engrais inorganiques qui nourrissent surtout la culture, et que ce sont les amendements qui améliorent et maintiennent la qualité du sol. Ces amendements concernent presque toujours des sources de MO, et parfois de la chaux et/ou de phosphate naturel. Il est courant que la GIFS soit traduite comme une simple utilisation combinée des engrais organiques et inorganiques. C'est en effet un cas de GIFS et des exemples existent pour attester de l'efficacité supérieure de cette combinaison au regard de l'utilisation séparée d'un des deux composants. Mais une telle compréhension ne doit pas être systématique. Un producteur qui peut se permettre d'acheter des engrais, peut souvent utiliser ses sources organiques d'une façon plus intelligente. La combinaison des engrais organiques avec les engrais inorganiques est à rechercher surtout pour viser des gains par synergie au-delà de la simple complémentarité.

### 3.3. L'utilisation des amendements organiques

Vanlauwe et al. (2002) classifient les sources de MO en utilisant les taux d'azote (N), de phénols et de lignine. Un bon fumier organique contient un taux élevé de N et des taux bas de phénols et de lignine. Ainsi, la minéralisation est rapide et le N et les autres éléments nutritifs deviennent rapidement disponibles pour la culture. Le désavantage est cependant que ce bon fumier contribue peu à l'amélioration du taux de MO du sol ; un bon fumier n'est pas nécessairement un bon amendement ! La combinaison de l'engrais avec du fumier de qualité supérieure ne mène qu'à un effet complémentaire ; les nutriments du fumier s'ajoutent aux nutriments de l'engrais.

Pour obtenir une bonne synergie, il faut combiner de l'engrais avec des amendements de qualité moindre en ce qui concerne leur contribution à la nutrition des cultures. La pratique montre cependant que des sources organiques qui connaissent une minéralisation trop lente (par exemple de la sciure de bois et des aiguilles de pin) ne sont pas efficaces. Il semble qu'elles sont trop inertes par rapport aux interactions chimiques et physiques dans le sol, interactions qui déterminent l'intérêt de la MO du sol. L'intérêt de la MO doit être considérée au regard de :

- la rétention des éléments nutritifs, la C.E.C. ;
- la rétention d'eau ;
- l'occupation des sites de fixation de phosphore (P) ;
- la capacité tampon contre les changements du pH.

Le tableau 2 illustre les différences entre des sources de MO par rapport d'une part aux taux d'éléments nutritifs, représentés par le taux de N, et d'autre part la vitesse de minéralisation (Bremner et al., 2012). La quantité de MO nécessaire pour maintenir le taux de N du sol augmente rapidement en descendant dans le tableau, tandis que la quantité nécessaire pour maintenir le taux de MO diminue fortement. Il convient de noter que le taux de N, même pour les bonnes sources de MO en haut du tableau, est très bas par rapport aux engrais azotés. Les derniers contiennent entre 26 % (CAN) et 46 % (urée) de N ; pour apporter 100 kg/ha de N, il faut 0,4 à 0,2 t/ha seulement. En utilisant des sources de MO, il faut déjà en apporter des quantités 25 à 50 fois supérieures, même pour les meilleures sources du haut du tableau.

Il est indéniable que les engrais azotés en soi n'apportent pas de MO, mais leur incidence indirecte est notable. En appliquant 100 kg/ha de N par ces engrais dans un cadre de GIFS, on produit, par exemple, 2500 kg de graines de sorgho de plus, mais aussi au moins 5000 kg de paille. Cette production supplémentaire de paille suffira pour maintenir le taux de MO du sol (Tableau 1).

Ainsi, quand on a suffisamment de paille, utiliser le fumier dans le cadre de la GIFS n'est pas optimale. Il est préférable de le garder pour fumer les champs où on n'a pas encore pu épandre de l'engrais. En utilisant pour la GIFS des sources organiques avec un taux élevé de nutriments et une minéralisation rapide, l'effet complémentaire domine, mais si ce taux de nutriments devient bas et la minéralisation lente, c'est la synergie qui devient forte.

**Tableau 2.** Besoins annuels en sources de MO en fonction de leurs qualités moyennes, pour apporter 100 kg/ha de N ou pour maintenir le taux de MO du sol dans les premiers 20 cm des sols tropicaux ayant une perte annuelle de carbone (C) de la MO du sol de 1 t/ha/an.

Source de MO	Taux de C	Reste de C après humidification	Taux de N	Besoins en MO t/ha/an de MS	
	g/kg de matière sèche			Apport de N <sup>1</sup>	Maintenir le taux de MO
Engrais vert	250	50	15	8,3	20.0
Compost	300	60	12	10,4	16.6
Fumier de bétail	350	105	10	14,3	9.6
Paille de sorgho <sup>2</sup>	450	225	5	40,0	4.4
Litière ligneuse :					
- sans bois grossier	350-400	70-160	5	29,0	6.3
- avec bois grossier	350-500	70-400	2,5	88,9	2.5

<sup>1</sup> La fraction libéralisée par la minéralisation.

<sup>2</sup> Les autres céréales grossières auront de la paille avec des caractéristiques assez comparables ; des céréales fines, comme le blé, auront de la paille un peu plus minéralisante. Mais la paille de riz, à cause du taux élevé de silice, pourrait se rapprocher du cas des céréales grossières.

Tous les sous-produits ne sont pas forcément disponibles comme amendements organiques. L'utilisation des fanes de pomme de terre et d'autres *Solanaceae* (e.g. tomates), par exemple, est à déconseiller à cause des risques de prolifération des maladies. Et les fanes de haricots et de patates douces ont plus de valeur comme fourrage pour le bétail. Il faut donc disposer de fumier ou de compost pour pouvoir appliquer la GIFS sur de telles cultures.

### 3.4. Technologies de la GIFS

#### 3.4.1. Variables

Les technologies de la GIFS ont en commun que l'apport des amendements organiques est un composant principal<sup>5</sup>. La différence clé entre ces technologies réside dans l'origine des amendements ; c'est l'origine qui détermine la disponibilité, la qualité et la durabilité. Quelques distinctions sont d'importance cruciale à considérer, comme déjà illustré par la diversité indiquée dans le tableau 1 :

- l'exploitation agricole est la source de MO, ou celle-ci est apportée de l'extérieure ;
- la MO est produite avec ou sans engrais ;
- les espèces végétales d'origine ont une qualité<sup>6</sup> intrinsèque élevée, moyenne ou basse ;
- la MO concerne du matériel végétal brut, ou elle est transformée par compostage ou par digestion animale.

La MO d'origine interne à l'exploitation agricole concerne les sous-produits agricoles, les produits des parcours et/ou des produits d'arbres. Ces sources n'apportent pas d'éléments nutritifs ; l'application de cette MO ne concerne qu'un recyclage des nutriments disponibles. Le N constitue une exception ; en supposant que le sol n'est pas déficient en phosphore (P), la culture des légumineuses apportera de l'azote (N) par fixation biologique. Il s'agit cependant d'un apport souvent surestimé, à cause de la déficience en P et le prix élevé de l'engrais phosphaté (Bremen, van Reuler, 2002).

L'apport de MO extérieure à l'exploitation agricole va de pair avec une augmentation des frais monétaires et un épuisement de la terre ailleurs, une forme de frais écologiques.

<sup>5</sup> Les autres amendements, comme la chaux et le phosphate naturel, ne seront pas traités ici.

<sup>6</sup> Le mot qualité, dans ce paragraphe 3.4.1, concerne la qualité pour fonctionner comme bon fumier.



La MO produite avec de l'engrais ayant un taux d'éléments nutritifs supérieur à celle produite sans engrais, l'immobilisation de N et d'autres éléments nutritifs au début de la saison sera moindre, ce qui améliore l'efficacité des engrais apportés. Cependant, la minéralisation risque d'être supérieure.

La remarque précédente vaut aussi pour la MO issue d'espèces végétales à "qualité" intrinsèque différente. La qualité diminue, par exemple, des espèces annuelles, aux plantes herbacées pérennes puis ligneuses. Elle diminue aussi des espèces légumineuses, aux espèces herbacées puis graminées, et enfin des espèces avec photosynthèse  $C_3$  aux espèces avec photosynthèse  $C_4$  (Penning de Vries, Djitéye, 1982).

Il y a des différences considérables entre de la biomasse végétale brute d'un côté et du matériel composté ou digéré (par du bétail ou par l'homme) de l'autre. Les différences sont cependant bien plus importantes pour l'utilisation comme fumier, comme alternative à l'engrais chimique, que pour l'utilisation comme amendement. Dans le dernier cas, c'est l'utilisation directe de la biomasse brute qui conviendra mieux à l'amélioration du sol. Un inconvénient est cependant l'énergie nécessaire pour faire intégrer la biomasse brute dans le sol ; en partie compensé par l'avantage d'une utilisation sans nécessiter de transport. Le compostage et la digestion animale améliorent indéniablement la qualité mais au prix d'une forte diminution de la quantité (IFDC, 2005).

Malgré toute cette variation au sein des amendements organiques, deux faits majeurs rendent leur application relativement simple : i) la qualité est inversement proportionnelle à la quantité, à la disponibilité : ii) la meilleure fraction, de proportion faible, peut servir comme alternative à l'engrais chimique, le reste, de proportion forte, peut servir comme amendement.

#### **3.4.2. Gestion de la MO**

L'utilisation de la MO sans engrais, comme cela se rencontre avec la majorité des producteurs en ASS et dans l'agriculture biologique, va de pair avec des pertes considérables de la MO. Il s'agit des pertes de la MO du sol des champs cultivés car le labour accélère la minéralisation de cette MO qui n'est pas compensée par les quantités apportées de MO. Il s'agit aussi des pertes de la végétation et de la MO du sol des zones où la MO de compensation est collectée. Ces pertes augmentent proportionnellement avec la croissance démographique (de Ridder et al., 2004). En effet, l'homme utilise la MO stockée auparavant dans le sol et dans la végétation, du temps où la pression humaine était encore négligeable.

Sans l'utilisation de l'engrais chimique, la disponibilité des sources organiques est limitée. En agriculture biologique à bon niveau de production, il faut de l'ordre de 4 ha de parcours pour chaque hectare de culture (Breman et al., 2012). La production de fumier ne correspond pas à un enrichissement de la disponibilité des éléments nutritifs, il ne s'agit qu'un transfert de fertilité impliquant l'épuisement de la fertilité des zones de collecte. Tôt ou tard, ces zones se dégradent, mettant fin aux systèmes de production qui en dépendent (Breman et al., 2007).

L'intensité et la qualité de la gestion de la MO, de sa production jusqu'à son utilisation, déterminent sans doute la vitesse et l'importance des pertes de MO mentionnées ci-dessus. Badgley et al. (2007) montrent que l'agriculture biologique bien gérée peut conduire à des rendements 1,4 à 1,8 fois ceux de l'agriculture conventionnelle, quand ces derniers sont bas. Ces facteurs multiplicatifs s'appliquent aux rendements céréaliers de 2 à 1 t/ha, niveau couramment rencontré en ASS (Breman, 2013). Ceci suggère que la gestion optimale de la MO permettrait de diminuer les pertes de MO d'environ 50 %.

### **3.4.3. Systèmes de production**

Les divers systèmes de production adoptant la GIFS pour une production efficace et durable, utilisent tous – en plus de l’engrais – de la MO pour améliorer ou maintenir la qualité du sol. C’est l’origine de la MO qui crée les différences. En cas de production mixte de végétaux et d’animaux, par exemple, c’est notamment le fumier qui sert comme MO. Dans une telle production mixte, l’efficacité varie suivant que le bétail est nourri par les produits de l’exploitation même ou par les aliments venant de l’extérieur. Dans ce dernier cas, il faut aussi distinguer les situations où l’alimentation du bétail provient de pâture ou de collecte à proximité ou est achetée.

Dans le cas des exploitations sans bétail, la MO provient des sous-produits, de la matière organique collectée aux alentours, du compost ou du fumier acheté. Ce dernier type de systèmes peut être bien intéressant à proximité des villes, où beaucoup de MO devient disponible grâce à l’apport de la nourriture pour l’homme.

Bien moins connu est le système de production qui exploite l’arbre comme source de MO. Il s’agit de l’agroforesterie, fortement promue par des ONG en ASS. En effet, le système promu ne concerne pas un système de production qui adopte la GIFS suivant la définition indiquée plus haut. Le système promu ne cherche pas l’utilisation efficace et durable des engrais chimiques mais il vise l’utilisation de la MO comme alternative aux engrais. L’adoption par les producteurs est limitée pour ce type de système; la pratique disparaît en général quand le financement des projets de promotion s’arrête. La raison est simple, l’introduction de l’arbre dans les champs diminue presque toujours le rendement des cultures, d’au moins 20% (Bremann, 2011). Bien que cette forme d’agroforesterie soit plus durable que la production extensive actuelle, elle reste peu acceptable en raison de cette diminution des rendements.

Il n’en est plus ainsi quand l’agroforesterie est envisagée comme une technique de la GIFS, dans une optique d’utilisation efficace et durable des engrais chimiques avec l’aide de l’arbre, ou “agroforesterie intensive” à l’opposé de l’agroforesterie extensive couramment promue par les ONG. Bien pratiquée, l’agroforesterie intensive fait augmenter les rendements obtenus par l’utilisation d’engrais qui devient ainsi plus durable (Bremann, Kessler, 1995; Bremann, 2011).

Mieux encore, comme cela sera approfondi par la suite, l’agroforesterie intensive peut être perçue comme un instrument potentiel pour concrétiser un pont entre l’agriculture conventionnelle et l’agro-écologie. Les promesses de cette agroforesterie seront analysées à travers le rendement et le revenu qu’on peut en attendre, comparés à ceux obtenus avec les systèmes actuels extensifs et épuisants d’ASS, ou avec ceux de l’agro-écologie en général et de l’agroforesterie extensive, ou encore avec les résultats des systèmes qui utilisent l’engrais chimique dans un cadre de la GIFS, à partir de sous-produits, de compost ou de fumier comme sources de MO.

## **4. Jeter un pont – la pratique**

### **4.1. Les exigences découlant du surpeuplement relatif de la zone cotonnière**

C’est notamment par rapport à l’Afrique de l’Ouest que les conséquences du surpeuplement pour les systèmes de production ont été étudiées. La dégradation de l’environnement est accélérée à cause de la disparition des arbres et de l’élevage pastoral. Ce dernier va de pair avec un déplacement du point de gravité de l’élevage de la région semi-aride à la savane, et une augmentation forte de l’effectif du bétail. C’est ainsi que les cultivateurs cherchent à maintenir la fertilité des champs (de Ridder et al., 2004; Bremann et al., 2007).

La menace du surpeuplement est bien moindre dans les zones cotonnières quand l'utilisation de l'engrais est supportée par la culture cotonnière et par les cultures de rotation, comme le maïs. L'apport de l'engrais augmente la capacité de charge des ressources naturelles (Bremán, 1990b ; Bremán, 2002). La durabilité du système cotonnier n'est cependant pas garantie car même si l'apport d'engrais ménage de l'espace pour l'arbre, le reboisement n'est pas automatique. Par ailleurs, la rentabilité de l'utilisation d'engrais sur le coton en ASS varie fortement avec les prix mondiaux du coton.

La durabilité serait mieux assurée avec l'introduction de l'agroforesterie intensive en faisant d'une pierre deux coups : la couverture arborée est régénérée et l'intensification agricole devient plus rentable ; l'utilisation de l'engrais devient plus rentable et durable. En conséquence, la production cotonnière sera plus compétitive et la surexploitation des parcours par un effectif de bétail trop nombreux s'estompe.

## 4.2. Agroforesterie intensive – la théorie

L'agroforesterie intensive constitue un bon exemple de systèmes de production combinant les rendements élevés de l'agriculture intensive conventionnelle et la préoccupation de la préservation du sol pour une production durable de l'agro-écologie, en s'affranchissant de la grande demande en espace. En effet, l'ASS peut éviter les erreurs de l'agriculture intensive industrielle commise dans les autres parties du monde si « l'utilisation minimale des engrais chimiques » de l'agro-écologie (de Schutter, 2010) est remplacée par une utilisation optimale (Bremán, 2013). Par rapport aux autres systèmes de production reposant sur la GIFS, l'agroforesterie a comme avantage supplémentaire de contribuer aux besoins en bois de chauffe.

Là où la production extensive actuelle des céréales conduit à des rendements de 0,5 à 2,0 t/ha, l'agro-écologie donne 1,2 à 2,8 t/ha, en occultant l'espace nécessaire pour obtenir suffisamment de fumure organique. L'utilisation d'engrais dans un cadre de la GIFS, en utilisant des sous-produits agricoles, du compost ou du fumier, donne des rendements de 2 à plus de 4 t/ha sous des conditions autrement comparables (IFDC, 2005 ; Bremán, 2013). L'agroforesterie intensive permet aux producteurs d'atteindre ces derniers rendements, tout en augmentant aussi la production ligneuse. L'efficacité et la rentabilité d'engrais sont améliorées et les risques environnementaux des engrais diminuent (Bremán, 2011 ; Bremán, Kessler, 1995).

Les principes de l'agroforesterie intensive ont été élaborés par Bremán & Kessler (1995). Ils montrent que l'objectif d'une utilisation d'engrais, aussi efficace que possible, exige :

- Une amélioration maximale de l'état de la MO du sol et une compétition limitée entre les arbres et la culture. C'est le parc à bois qui est le plus efficace.
- Une distribution homogène des arbres.
- Une couverture de l'espace du champ par les arbres de 20 à 25 %.
- Une hauteur suffisante de la couronne des arbres ; la longueur du tronc doit être au moins deux fois le diamètre de la couronne.
- Un système racinaire profond des espèces d'arbres à utiliser.
- Une coupe des racines superficielles des arbres, avant chaque saison, pour les limiter à deux mètres du tronc.
- Une vitesse de minéralisation assez lente des feuilles des arbres.
- L'élimination du facteur limitant de croissance, comme souligné par Radersma (2002) ; il s'agit en général de la déficience en éléments nutritifs, fort fréquente en Afrique de l'Ouest là où la pluviométrie dépasse 300 mm/an (Penning de Vries, Djitéye, 1982).
- Une application d'engrais pour diminuer la compétition entre les arbres et la culture.

L'agroforesterie extensive, promue comme une alternative à l'apport d'engrais chimiques, connaît en général une compétition sérieuse entre les arbres et la culture car :

- la déficience du sol en éléments nutritifs en est une cause majeure ;
- cette déficience est renforcée par le choix des espèces, ayant des feuilles riches en éléments nutritifs et avec une minéralisation rapide ;
- la déficience du sol en P fait réduire la fixation biologique de N des essences choisies ;
- la préférence pour la culture en couloir ne permet pas de profiter au mieux de la différence de croissance entre les arbres et les cultures annuelles qu'ils stimulent : la production élevée de biomasse, grâce à une longue durée de vie et une concentration des éléments nutritifs pour atteindre de grandes dimensions, ne se réalise pas car les rejets sont coupés annuellement (Bremar, Kessler, 1995).

L'agroforesterie extensive ne se différencie pas de l'agroforesterie intensive seulement par l'objectif, une alternative à l'utilisation des engrais versus le renforcement de l'efficacité des engrais. Les propriétés des espèces d'arbres efficaces diffèrent, de même que leur gestion. Les légumineuses de l'agroforesterie extensive ne sont pas nécessairement efficaces dans l'agroforesterie intensive. La déception des agriculteurs, qui acceptent la suggestion des ONG de pratiquer l'agroforesterie extensive, s'explique par la compétition trop forte entre les arbres et la culture, une compétition dont l'effet négatif dépasse l'effet positif de l'arbre sur le sol. Il n'y a que deux cas où l'agroforesterie extensive mène en général à une augmentation du rendement des cultures, l'utilisation des brise-vent là où, sans protection, l'agriculture est quasi impossible, et le parc à bois dont le cycle des arbres et celui de la culture n'a qu'un chevauchement partiel (Bremar, 2011).

### 4.3. Agroforesterie intensive – la pratique

Les exemples de l'agroforesterie intensive restent rares. Tamelokpo et al. (2005) ont traité un test qui a duré 10 ans et qui était installé dans la zone côtière du Togo, un parc à bois créé en transformant une culture en couloir de *Leucena leucocephala*. Le tableau 3 présente l'effet des arbres à la fin de la période de test. Bien que prometteurs, les résultats obtenus restent sous-optimaux car les feuilles de *Leucena* minéralisent rapidement et les racines sont peu développées et superficielles du fait de la coupe régulière des arbres pour les empêcher de déborder dans le couloir.

**Tableau 3.** La production aérienne d'un parc à bois avec et sans engrais, en comparaison avec celle d'une culture de maïs extensive (témoin) et intensive (témoin + engrais)

	Rendements (t/ha) <sup>1</sup>				
	Maïs		Arbres		Total
	Graines	Paille	Feuilles <sup>2</sup>	Bois	Total
Témoin	1,3	1,9	0	0	3,2
Témoin + engrais	4,2	6,3	0	0	10,5
Parc à bois	2,6	3,9	5,0	> 5,9 <sup>3</sup>	> 17 <sup>3</sup>
Parc à bois + engrais	4,1	6,1	9,5	> 14,5 <sup>3</sup>	> 34 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Saison principale seulement pour la culture. Parfois, le niébé a été cultivé pendant la deuxième saison.

<sup>2</sup> Et autre biomasse tombée.

<sup>3</sup> Arbres bien trop jeunes pour être coupés. Estimation basée sur la base de la production des feuilles et de la production des feuilles et du bois du champ voisin portant la culture en couloir originale.

La grande différence entre la culture intensive de maïs et le maïs en agroforesterie intensive est la production totale de biomasse : respectivement 10,5 t/ha et plus de 34 t/ha. Quoique dans les deux cas, le taux de recouvrement d'engrais soit très bon (55%, alors que la moyenne ouest africaine est 35%), le risque de perte de N non absorbé doit être nul pour le parc à bois car la production aérienne des arbres y est au moins de 13,1 t/ha supérieure à la production du parc à bois sans engrais. Il est vraisemblable que la production racinaire est

augmentée presque dans les mêmes proportions. Par ailleurs, le parc à bois intensif n'est pas seulement un instrument efficace pour l'agriculture et la production du bois énergétique, il est aussi très efficace pour la séquestration de carbone (Bremen et al., 2004).

#### 4.4. Agroforesterie intensive, sécurité alimentaire et impacts économiques

Les résultats ci-dessus montrent que l'agroforesterie intensive, mieux que l'agriculture intensive industrielle et l'agro-écologie, peut assurer la sécurité alimentaire d'une façon durable. Il reste à savoir si son rapport coûts/bénéfices est favorable, en mettant de côté que le gain de durabilité est en soi un bénéfice économique.

Les estimations de la valeur économique de l'agroforesterie intensive sont encore plus rares. Le tableau 4 présente une synthèse réalisée à partir des résultats d'une étude *ex-ante*, combinant les résultats de Tamelokpo et al. (2008) d'un test sur 10 ans au Togo, avec des résultats des introductions récentes au Rwanda, et basée sur les coûts et prix récents de ce pays. Dans ce dernier pays, en plus des amendements organiques, la chaux a été utilisée. L'estimation des bénéfices potentiels d'un système durable a nécessité de tenir compte de l'acidité du sol au Rwanda et de l'acidification liée à l'usage des engrais.

**Tableau 4.** Une estimation du rapport coûts/bénéfices de deux formes d'agroforesterie intensive au Rwanda.

	Premier objectif			
	Contrôle d'érosion & production		Production agricole & forestière	
	% & \$/ha/an	%	% & \$/ha/an	%
<b>Coûts</b>				
<b>Composant ligneux</b>				
Investissement	33 %		21 %	
Main d'œuvre	67 %		79 %	
Sous-total	105 \$	9	165 \$	14
<b>Culture</b>				
Investissement	54 %		51 %	
Main d'œuvre	46 %		49 %	
Sous-total	1 007 \$	91	1 051 \$	86
Coûts totaux	1 112 \$		1 216 \$	
<b>Revenu brut</b>				
Composant ligneux		20		30
Culture		80		70
Bénéfices nationaux <sup>1</sup>	p.m.		p.m.	
Revenu brut total	1 590 \$		2 122 \$	
<b>Bénéfices nets</b>				
Composant ligneux		45		53
Culture		55		47
Bénéfices nationaux <sup>1</sup>	p.m.		p.m.	
<b>Bénéfice net total</b>	<b>478 \$</b>		<b>906 \$</b>	

<sup>1</sup> e.g. Durabilité de l'agriculture et séquestration de carbone. Indiqué pour mémoire.

Deux types d'agroforesterie ont été étudiés. L'un est employé sur des bons sols sans érosion notable, où l'on veut produire des cultures alimentaires et du bois. L'autre est celui appliqué à l'agriculture en pente, où le contrôle d'érosion est un objectif primordial pour une culture durable.

Les résultats présentés concernent deux cultures ; l'agriculture rwandaise est essentiellement à deux cycles de culture par an. Le bénéfice net total, respectivement de 906 et 478 \$/ha/an pour

«contrôle d'érosion et production» et «production agricole & forestière», n'est pas très élevé, mais il est bien plus élevé que celui de l'agriculture extensive actuelle. Avec le maïs, on aurait en moyenne environ 530 \$/ha/an comme revenu brut, alors que les coûts de production par kg de maïs seraient supérieurs. Par ailleurs, le coût payé pour les engrais est très élevé, alors que les prix perçus pour le maïs et autres cultures est très bas dans un marché libre et transparent. Le prix du bois est aussi relativement bas car la couverture forestière est relativement élevée en dépit de la pression démographique du Rwanda, en conséquence d'une politique forestière et environnementale efficace (c'est l'un des rares pays d'ASS où la couverture forestière augmente).

Ce sont les valeurs relatives et absolues des prix d'intrants et de la main-d'œuvre, ainsi que ceux des produits agricoles et du bois, qui déterminent l'intérêt de l'agroforesterie intensive pour le développement économique et rural. Cet intérêt doit être plus grand encore que celui observé au Rwanda là où, en ASS, les marchés deviennent plus libres et transparents, les prix d'intrants deviennent plus bas alors que ceux des produits agricoles et de la main-d'œuvre augmentent. À l'exception de quelques pays qui connaissent encore une couverture forestière considérable, les prix du bois doivent en général être supérieurs à ceux du Rwanda, ce qui est certainement le cas aux alentours des grandes villes.

Une belle illustration d'un système de l'agroforesterie intensive dans la proximité des grandes villes est celle analysée par Toose et al. (2007) à Cotonou (Bénin) : sur une période de 4 ans, le revenu net de l'agroforesterie est 560 \$/ha supérieur à celui de la culture de maïs continue, malgré le fait que la production de maïs en agroforesterie n'est que la moitié de celle de la culture continue. Il s'agit d'une rotation bois et maïs sur 4 ans, où l'on cultive le maïs pendant deux des quatre années entre les rejets d'*Acacia auriculiformis* après la coupe d'arbres du cycle précédent.

*A contrario*, les résultats du système promu en RDC dans sa forme extensive – comme solution pour augmenter les bas revenus des petits producteurs et améliorer leur sécurité alimentaire – en montrent les limites. La production agricole est certes le double de celle des cultures sans arbres, mais cela n'est vrai que pour la première année après coupe. Dès la deuxième année, l'incidence des rejets consécutifs à cette coupe est telle que le rendement est au mieux égal que celui du témoin sans arbres. Les années suivantes, l'excès d'ombre empêche toute culture. Breman (2011) a analysé ce cas sur la base de l'évaluation de Ducenne (2009). En effet, le rendement céréalier de 1,5 t/ha en première année après coupe était presque le double de celui des producteurs aux alentours du projet «Mampu», qui ont éliminé les arbres de leurs champs et qui produisent en moyenne 0,8 t/ha. Mais le rendement céréalier moyen des producteurs de Mampu sur un cycle complet de 8 à 12 ans, n'a été que de 0,2 t/ha<sup>7</sup>. Leur revenu est certes supérieur à celui des petits producteurs congolais, mais ceci n'est pas grâce à l'agroforesterie extensive qu'ils pratiquent, mais à cause de la surface de leur exploitation : 24 ha par famille, contre une moyenne pour les petits producteurs familiaux au Congo ne dépassant pas 1 ha.

## 5. La recherche inhérente à une agriculture productive et durable

La recherche nécessaire pour une agriculture africaine productive, compétitive et durable sera efficace si les chercheurs de l'agriculture conventionnelle industrielle et ceux de l'agro-écologie collaborent ensemble. Cela peut paraître comme un idéal lointain, mais l'orientation récente de la recherche à comprendre et à améliorer la GIFS y contribue. Cela concerne surtout les instituts basés ou originaires du Nord, tels CIAT-TSBF et IFDC, ou des universités comme celles de Wageningen aux Pays-Bas et de Leuven en Belgique. Par contre, la dépendance des

<sup>7</sup> Pour souligner encore la différence entre l'agroforesterie intensive et extensive, Toose et al. (2007) obtiennent 0,7 t/ha comme rendement de maïs pour un cycle complet.



instituts et des universités africaines du financement extérieur semble constituer une contrainte dans le choix indépendant des thèmes de recherche à aborder.

L'analyse et les propositions ci-dessus sont à la base de quelques questions cruciales abordées pour a) une GIFS encore plus efficace et plus adaptée aux conditions socio-économique et agro-écologiques diverses, et b) la mise en œuvre de la GIFS dans l'agroforesterie intensive. Ces questions sont certes de nature agronomique, mais pour parvenir à des réponses valables ou applicables, l'agronomie doit être accompagnée par la socio-économie.

Le manque de coopération actuel entre les deux «écoles» agronomiques n'est pas favorable à la prise de décision politique et peut conforter les politiques à repousser les décisions à plus tard, en arguant que : «Les scientifiques ne connaissent pas encore les urgences et les approches à suivre».

- Il est vrai que la GIFS et ses technologies ne sont pas encore suffisamment connues et comprises. Par exemple, il ne suffit pas de qualifier les sources de MO comme alternative aux engrais chimiques, il faut aussi une qualification comme amendement dans le cadre de la GIFS, même si Vanlauwe et al. (2002) ont fait un premier pas dans cette direction. Mais il reste à savoir, par exemple, quelles propriétés caractérisent un amendement qui optimise l'utilisation des engrais et quelles sont les sources les plus aptes, disponibles et accessibles à cette fin.
- L'agroforesterie intensive est à peine testée en pratique, et ce n'est que dans le Sahel et la savane ouest africaine et dans le cœur de la région des Grands Lacs que les premiers pas ont été entrepris pour passer de la théorie à la pratique. Des questions urgentes concernent l'identification a) des régions où les conditions écologiques et socio-économiques sont favorables pour une utilisation efficace de ce système de production, et b) des espèces d'arbres utiles pour ces régions. Des éléments de réponse sont disponibles à travers l'ouvrage de Breman & Kessler (1995) ou des synthèses relatives aux tests de GIFS menés par l'IFDC et le CIAT-TSBF (IFDC, 2005).
- La promotion de l'agroforesterie intensive pour la zone cotonnière demande des tests avec le coton et ses cultures de rotation. Le coton étant une espèce à photosynthèse C3 dont le besoin en lumière est relativement restreint, est un candidat intéressant pour la production en présence d'arbres. Une telle agroforesterie est à maîtriser pour gérer la concurrence entre le coton, les cultures de rotation et les arbres dans un contexte de réchauffement climatique avec augmentation du taux de CO<sub>2</sub> dans l'air. L'étude de Derner et al. (2003) fournit une source d'information et d'idées intéressantes dans le cas du système à base de coton et de sorgho. Également utile est le résultat d'une collaboration entre CIRAD et IFDC ; une étude relative au coton qui cherche à jeter un pont entre la production cotonnière intensive et la production écologique (Breman et al., 2004).

## Bibliographie

- AFREA, 2011. *Wood-Based Biomass Energy Development for Sub-Saharan Africa Issues and approaches*. AFREA, World Bank & ESMAP. The International Bank for Reconstruction and Development, World Bank Group, Washington DC.
- Badgley C. et al., 2007. Organic agriculture and the global food supply. *Renouvelable Agriculture and Food Systems*, **22**, 86-108.
- Breman H., 1990a. No sustainability without external inputs. In: *Beyond adjustment: Sub-Saharan Africa. Africa seminar, Maastricht, The Netherlands*. Ministry of Foreign Affairs, Den Haag, 124-133.
- Breman H., 1990b. Integrating crops and livestock in southern Mali: rural development or environmental degradation? In: Rabbinge R. et al. (eds). *Theoretical production ecology: reflections and prospects*. Simulation monographs, **34**. PUDOC, Wageningen, The Netherlands, 277-294.



- Breman H., 2002. Soil fertility and farmers' revenue: keys to desertification control. In: Shimizu H. (ed.). *Integration and regional researches to combat desertification; present state and future prospect. The 16<sup>th</sup> Global Environment Tsukuba. CGER/NIES, Tsukuba (Japan)*, 26-41.
- Breman H., 2011. *Comment assurer la sécurité alimentaire en RDC? S'appuyer sur de l'agroforesterie et des engrais !* Rapport du projet IFDC-CATALIST. IFDC-Rwanda, Kigali.
- Breman H., 2013. The agro-ecological solution!? Food security and poverty reduction in sub-Saharan Africa, with an emphasis on the East African Highlands. In: Vanlauwe B., van Asten P., Blomme G. (eds). *Agro-Ecological Intensification of Agricultural Systems in the African Highlands*. Routledge, Taylor & Francis Group, Oxon, UK.
- Breman H., Kessler J.J., 1995. *Woody plants in agro-ecosystems of semi-arid regions (with an emphasis on the Sahelian countries)*. Advanced Series in Agricultural Sciences 23. Springer-Verlag, Berlin.
- Breman H., Sissoko K. (eds), 1998. *L'intensification agricole au Sahel*. Karthala, Paris, 996 p.
- Breman H., van Reuler H., 2002. Legumes, when and where an option? No panacea for poor tropical West African soils and expensive fertilizers. In: Vanlauwe B., Diels J., Sanginga N., Merckx R. (eds). *Integrated plant nutrient management in sub-Saharan Africa*. CAB International, Wallingford, UK, 285-298.
- Breman H., Fofana B., Mando A., 2007. The lesson of Drente's 'essen' Soil nutrient depletion in sub-Saharan Africa and management strategies for soil replenishment. In: Braimoh A.K., Vlek P.L.G. (eds). *Land use and soil resources*. Springer Science & Business Media B.V., Heidelberg, Germany, 145-166.
- Breman H., Gakou A., Mando A., Wopereis M., 2004a. Enhancing integrated soil fertility management through the Carbon Market to combat resource degradation in overpopulated Sahelian countries. In: *Proc. Regional Scientific Workshop on Land Management for Carbon Sequestration. Bamako (Mali), February 27-28, 2004. Organized by the Carbon from Communities project and funded by the U.S. National Aeronautics and Space Administration*. IER (Bamako), NASA & Soil Management CRSP, USA. Cd-Rom NASA.
- Breman H., Gaborel Ch., Vaissayre M., Vogelsperger R., 2004b. *Coton durable. Vers une gestion améliorée de la fertilité des sols et des nuisances. Le cas de l'Afrique de l'Ouest et du Centre*. Paper presented at the EU-Africa Cotton Forum, Paris, July 2004. IFDC, Muscle Shoals & CIRAD, Montpellier, France.
- Breman H., Köster H., Rukundo R., 2012. *Élevage des ruminants dans des systèmes de production mixtes, Vol. II. Fiches techniques pour la Région des Grands Lacs d'Afrique Centrale*. IFDC-CATALIST, Kigali.
- Breman H. et al., 2012. *Proposition pour l'amélioration des recommandations d'intensification agricole sur la base des résultats des tests participatifs et des démonstrations de fertilisation*. Rapport du projet IFDC-CATALIST. IFDC-Rwanda, Kigali.
- Derner J.D. et al., 2003. Above- and below ground responses of C3-C4 species mixtures to elevated CO<sub>2</sub> and soil water availability. *Global Change Biology*, 9(3), 452-460.
- de Schutter O., 2010. *Agro-ecology and the right to food*. UN Report A/HRC/16/49.
- Ducenne Q., 2009. *Évaluation des actions agroforestières à Mampu, RDC*. Rapport d'Évaluation sur demande de la Communauté Européenne.
- IFDC, 2005. *Development and dissemination of sustainable integrated soil fertility management practices for smallholder farmers in sub-Saharan Africa*. Techn. Bull. IFDC-T-71. IFDC, Muscle Shoals, AL, USA, 65 p.
- Keulen H. van, 1982. Graphical analysis of annual crop response to fertilizer application. *Agricultural Systems*, 9(2), 113-126.
- Penning de Vries F.W.T., Djitéye M.A. (eds), 1982. *La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle*. Agric. Res. Rep. 918, PUDOC, Wageningen.

- Ridder N., Breman H., van Keulen H., Stomph T.J., 2004. Revisiting a cure against land hunger: soil fertility management and farming systems dynamics in the West African Sahel. *Agricultural Systems*, **80**(2), 109-131.
- Radersma S., 2002. *Tree effects on crop growth on a phosphorus-fixing ferrasol*. PhD thesis University of Wageningen, The Netherlands
- Tamélokpo A., Mando A., Breman H., 2005. Influences des éléments manquants et la gestion du sol sur les rendements de maïs et le recouvrement de N, P et K dans des systèmes d'agroforesterie. *In: Development and dissemination of sustainable integrated soil fertility management practices for smallholder farmers in sub-Saharan Africa*. Techn. Bull. IFDC. T-71. IFDC, Muscle Shoals, AL, USA.
- Toose W.A., Tamélokpo A., Wopereis M.C.S., 2007. Deux techniques agroforestières, culture en couloir et parc à bois cas de la savane côtière Davié, Togo. *In: Development and dissemination of sustainable integrated soil fertility management practices for smallholder farmers in sub-Saharan Africa*. Techn. Bull. IFDC. T-71. IFDC, Muscle Shoals, AL, USA.
- Toose W.A., Carsky R.J., Mewou J.M., Wopereis M.C.M., 2007. Fertilizer response of maize and profitability of mixed maize – *Acacia auriculiformis* systems in the coastal savanna of West Africa. *In: Development and dissemination of sustainable integrated soil fertility management practices for smallholder farmers in sub-Saharan Africa*. Techn. Bull. IFDC. T-71. IFDC, Muscle Shoals, AL, USA.
- Vanlauwe B., Palm C.A., Murwira H.K., Merckx R., 2002. Organic resource management in sub-Saharan Africa: validation of a residue quality-driven decision support system. *Agronomie*, **22**, 839-846.
- Vanlauwe B., Zingore S., 2010. Integrated soil fertility management: an operational definition and consequences for implementation and dissemination. *Better Crops*, **95**, 4-7.
- Zuberi T., Thomas K.J.A., 2012. *Demographic projections, the environment and food security in sub-Saharan Africa*. WP 2012-001, UNEP.



## Comparaison des trajectoires d'innovation pour la sécurisation alimentaire des pays du Sud

Temple Ludovic, Cirad, Montpellier, France, E-mail : ludovic.temple@cirad.fr.

Touzard Jean-Marc, Inra, Montpellier, France

Kwa Moise, Centre Africain de Recherches sur Bananiers et Plantains, Douala, Cameroun

Boyer James, Inra, Montpellier, France

Requier-Desjardins Denis, Université de Toulouse, Toulouse, France

Cet article est paru dans la revue *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **19**(1), 53-61.

<http://hdl.handle.net/11006/178>

### Résumé

L'évolution du concept de sécurité alimentaire et celui de sécurisation alimentaire soulignent la « multi-dimensionnalité » des enjeux alimentaires (quantité, qualité, accessibilité, identité, stabilité, etc.). Elle implique de renforcer les capacités d'innovation des populations confrontées à l'insécurité alimentaire. L'objectif est d'analyser comment le concept de système d'innovation structure différentes trajectoires d'innovation pour la sécurité alimentaire des pays en développement.

La méthode mobilise d'abord une revue de la littérature sur l'application de ce concept dans le secteur agricole et alimentaire (SIA). Elle teste ensuite son utilisation dans deux études de cas.

Un premier type de trajectoires productivistes pose pour hypothèses que la sécurité alimentaire impose d'abord d'accroître les disponibilités et que cet accroissement implique la mobilisation d'intrants industriels. Ce type de trajectoires relancées par la crise financière de 2008 est renouvelé par les potentialités des biotechnologies. Elle conserve une conception linéaire de l'innovation. Elle rencontre des limites liées à ses externalités environnementales et sociales, mais également pour la sécurité alimentaire, notamment dans les Pays Moins Avancés (PMA) en transition démographique. Le deuxième type de trajectoires partant d'une posture multidimensionnelle et de la notion de sécurisation alimentaire propose d'innover pour une transition écologique de la fonction de production dans le secteur alimentaire. Elle se fonde sur la valorisation des ressources locales. Elle implique un changement de modèle d'innovation que nous illustrons par deux études de cas sur le plantain au Cameroun et l'igname en Haïti.

Les résultats confirment le succès d'une démarche de co-construction de l'innovation. Le renforcement des capacités d'innovation locales permet de réaliser les potentialités des agro-systèmes pour la sécurité alimentaire.

### Comparison of innovation paths for food security in countries of the South

The evolution of the concept of food security and of food securization emphasizes the multi-dimensionality of food challenges (quantity, quality, affordability, identity, stability, etc.). This implies strengthening the innovation capacity of populations faced with food insecurity. The objective of this study was to analyze how the concept of innovation system structures different trajectories of innovation for food security in developing countries.

A literature review firstly examines the application of this concept within the agricultural and food sector (SIA). The application of the concept is then tested in two case studies.

A first type of "productivist" path hypothesizes that food security necessitates increased availability and thus requires industrial input. This type of path re-emerged during the 2008 financial crisis in a form that included biotechnological potentialities, and retained a linear conception of innovation. This type of path is limited by environmental and social externalities as well as in terms of efficiency in relation to food security, in particular in the less developed countries undergoing demographic transition. The second type of path is based on a multi-dimensional approach and on the notion of food securization. Innovation will foster an ecological transition of the production function in the food sector. This approach is based on

the promotion of local resources and involves a change in the innovation model. This change is illustrated in two case studies, one on plantain in Cameroon, the other on yam in Haiti.

The results confirm the success of a process of the co-construction of innovation. The strengthening of local innovation capacities provides opportunities to realize the potentialities of agrosystems for food security.

## 1. Introduction

L'évolution du concept de sécurité alimentaire questionne l'orientation des processus d'innovation dans le secteur agricole et alimentaire. La notion de sécurité alimentaire est passée d'une conception quantitative issue des travaux de l'Organisation Internationale du Travail (OIT) en 1935 à une définition polarisée par deux dimensions principales :

- une dimension que l'on qualifie d'objective (c'est-à-dire pouvant faire l'objet de mesures ou de quantification) mettant en avant la disponibilité des aliments (produits ou importés), leur accessibilité physique et économique, leur qualité nutritionnelle et la régularité des approvisionnements et des prix ;
- une dimension plus subjective qui renvoie à des questions d'identité culturelle, de justice sociale et de souveraineté sur le plan politique, c'est-à-dire la possibilité d'un État, d'une collectivité, d'un peuple autochtone ou d'un ménage de décider de son alimentation et d'être moins dépendant des marchés internationaux.

En complément de cette vision fonctionnaliste, émerge dans la littérature la dimension procédurale de «sécurisation alimentaire» qui peut se définir comme «un ensemble de processus et d'actions visant à limiter les situations d'insécurité alimentaire» (Touzard et al., 2012).

Cette dimension invite à analyser, dans les situations d'insécurité alimentaire localisées avant tout dans les Pays Moins Avancés (PMA) et les zones rurales, les trajectoires d'innovation dans l'agriculture, dans la mesure où elles peuvent influencer les capacités des agriculteurs à faire face à des situations d'insécurité alimentaire. La question est donc de savoir comment orienter les processus d'innovation (conception, implémentation, adoption, etc.) dans le secteur agricole et alimentaire pour contribuer à la sécurisation alimentaire des PMA (Francis, 2010).

Pour y répondre, nous proposons dans les deux premières parties d'explorer en quoi le renouvellement du concept de système d'innovation permet de qualifier les principales trajectoires technologiques et les modèles d'innovation qui orientent ces trajectoires dans l'agriculture et l'agro-alimentaire en Afrique et dans les Caraïbes. Nous analyserons à partir de la littérature leurs conséquences sur l'enjeu de sécurisation alimentaire. Nous verrons ensuite dans une troisième partie comment un changement de modèle d'innovation permet de mieux accompagner une transition écologique dans le secteur agricole et alimentaire pour répondre aux enjeux de sécurité alimentaire respectivement en Haïti sur l'igname et au Cameroun sur le plantain. La notion de transition écologique qualifie dans notre propos des changements techniques qui reposent sur la mobilisation des ressources que proposent les écosystèmes localisés, ceci par différence avec des intrants standardisés produits par l'industrie.

## 2. Renouvellement du concept de «Système d'Innovation» et caractérisation des trajectoires technologiques

Le concept de système d'innovation est devenu aujourd'hui central pour l'économie de l'innovation. Ce concept vise à saisir comment «un ensemble d'institutions, d'organisations, de réseaux et d'acteurs peuvent interagir pour favoriser l'innovation dans un espace donné

national, régional ou sectoriel, ou dans un espace construit par des entreprises ou autour du développement d'une technologie» (Touzard et al., 2014). Pour explorer les conditions de mise en œuvre ou d'utilisation du concept de Système d'Innovation (SI) dans l'Agriculture et l'Agro-alimentaire (SIA), nous mobilisons une analyse bibliométrique réalisée sur les bases CAB, Web of Science et Scopus. Cette revue a identifié 150 articles (1995-2012) qui utilisent la notion de SI dans l'agriculture et l'agro-alimentaire, elle met en évidence les faits suivants (Figure 1) :

- le caractère structurant de ce concept qui émerge dans le secteur industriel et dont l'usage est en forte croissance dans les travaux sur l'innovation dans l'agriculture et l'agro-alimentaire depuis 2009 ;
- l'utilisation croissante de ce référentiel dans les Pays Moins Avancés (près du tiers des publications recensées) en relation avec sa mobilisation au sein des centres du « *Consultative Group on International Agricultural Research* » (CGIAR) ou de la Banque Mondiale.

L'analyse de cette littérature identifie quatre « communautés de connaissances » utilisant différemment les SI. Les communautés les plus importantes s'opposent notamment au niveau de leur analyse des trajectoires technologiques dans les pays émergents et moins avancés.

La première communauté met en avant le rôle des connaissances scientifiques dans l'activation des processus d'innovation, avec une conception qui reste très technologiste et diffusionniste : c'est la recherche scientifique qui joue le rôle clé. Le concept de SI est alors utilisé pour expliquer les « conditions d'acceptabilité sociale » ou de diffusion des innovations qui concernent notamment les biotechnologies, les OGM, les bioénergies (Carlson, 2006). Elle associe principalement des universitaires, des acteurs des politiques de l'innovation, des ingénieurs d'organismes de développement et des firmes de biotechnologies ou agro-alimentaires.

La deuxième communauté est issue d'une tradition de recherche constituée autour de l'agriculture dans les systèmes nationaux de recherche agronomique et des approches « *Farming System* ». Elle s'interroge sur la manière selon laquelle les institutions de R&D (Recherche et Développement) de l'agriculture peuvent contribuer aux enjeux de réduction de la pauvreté, de sécurité alimentaire, de gestion des ressources naturelles. Elle réunit des sociologues ou économistes du développement agricole, des responsables d'organisations de la recherche, des agronomes et acteurs impliqués dans les « projets de développement ». Les deux autres communautés moins présentes dans les pays du Sud concernent respectivement des recherches sur les déterminants macro-économiques et sur le management de l'innovation.

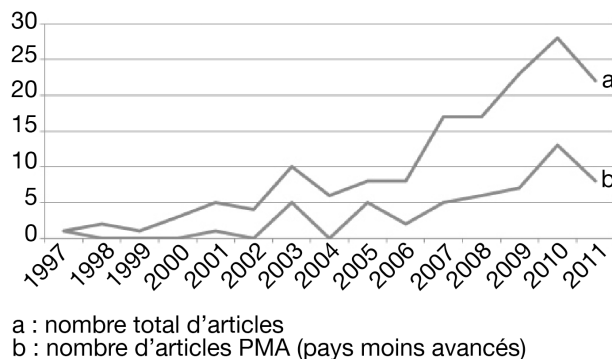


Figure 1. Nombre d'articles sur «Système d'Innovation dans le secteur Agricole et Alimentaire».

En concentrant l'analyse sur le sous-échantillon des 55 articles couvrant le groupe des PMA principalement localisés en Afrique sub-saharienne et dans les Caraïbes, nous avons réparti ces articles selon leur appartenance dominante à l'une ou l'autre des deux premières

communautés. Dans un deuxième temps, nous avons analysé en quoi chacun des deux groupes d'articles caractérise une trajectoire d'innovation à partir de variables relatives à : la nature de l'intensification et des innovations, les indicateurs d'efficacité ou d'évaluation mobilisés (dont ceux concernant l'impact sur la sécurité alimentaire), enfin le modèle et les politiques d'innovation mobilisés.

### 3. Les trajectoires d'industrialisation agricole et agro-alimentaire

Le premier type de trajectoire (qui concentre 45 % des articles du sous-échantillon observé) correspond à une intensification industrielle de la production agricole et s'inscrit dans le prolongement de la révolution verte des années 1970 (Gérard et al., 1995), focalisée sur l'augmentation des disponibilités alimentaires par celle de la production et des rendements.

Ce type de trajectoires est structuré par cinq postulats dominants :

- L'industrialisation de la fonction de production basée sur l'utilisation d'intrants : semences hybrides, engrais, pesticides. Cette utilisation est notamment renouvelée par les biotechnologies (Hall, 2005) : OGM, bio-fertilisants ou nouvelles molécules de la « chimie doublement verte » (Garnier et al., 2014).
- La recherche d'efficience par l'exploitation d'économies d'échelle au niveau des firmes agro-chimiques et des exploitations qui a pour principales conséquences :
  - la pratique de cultures ou plantations mono-spécifiques qui renforce les spécialisations des exploitations et des bassins de production, ce qui accroît les pressions des bio-agresseurs et la sensibilité positive des rendements à l'utilisation de pesticides ;
  - la mécanisation des opérations culturales qui implique des investissements en capital élevé (bulldozers, tracteurs, avions) ;
  - la concentration de l'activité de production dans un nombre de plus en plus réduit d'exploitations (augmentation de leur taille), ce qui sous-entend soit un mode de production agro-industriel, soit une transition de l'agriculture familiale vers une agriculture d'entreprise ou contractuelle recourant à une main-d'œuvre salariée permanente.
- Un modèle d'innovation linéaire et diffusionniste qui a deux caractéristiques principales :
  - la phase de conception se localise dans le laboratoire de recherche (privé ou public). La recherche est présentée comme autonome de la sphère sociale et la notion de « paquet technologique » est fréquemment utilisée ;
  - le processus d'innovation est réduit pour l'essentiel à la diffusion de l'invention, ce qui focalise l'analyse sur les organisations de transfert technologique : du « laboratoire » aux « clients de la recherche » et de « l'entreprise agro-chimique globalisée » aux agriculteurs. Les politiques d'innovation préconisées selon ce modèle ont pour finalité d'adapter l'environnement institutionnel, les structures productives et les compétences aux conditions nécessaires à la mise en œuvre des technologies élaborées par la recherche. En effet, les investissements (publics ou privés) dans ces technologies impliquent de pouvoir amortir les *outputs* (molécules, OGM) grâce à des échelles d'utilisation suffisamment larges. La mise au point de ces *outputs* étant liée à des conditions de production (fonction de production) précises, il est dès lors nécessaire de standardiser ces conditions pour assurer la diffusion des *outputs* considérés. L'hypothèse de l'inadaptation des propositions technologiques aux conditions productives n'est généralement pas abordée. La définition des « conditions d'adoption de l'innovation » permet de cibler les usagers potentiels ou d'orienter les politiques de développement pour promouvoir l'innovation. Ce type de trajectoires est aujourd'hui remis en cause à la fois par la croissance d'externalités négatives et par une diminution d'efficacité pour la réalisation des objectifs globaux de sécurité alimentaire et nutritionnelle (Fournier et al., 2014).



- La croissance d'externalités négatives génère des coûts cachés sociopolitiques et environnementaux. Les coûts sociopolitiques sont liés à deux dimensions principales : la première concerne les conséquences sur la santé des populations du fait de l'utilisation massive d'intrants chimiques, principalement les pesticides (Peto et al., 2013). Ces coûts cachés touchent en priorité les salariés des entreprises (Wilson et al., 2004), les normes sociales conduisant à la reconnaissance des maladies professionnelles liées à ces usages étant inopérantes dans de nombreux pays. Ils peuvent aussi toucher les populations environnantes, consommatrices de produits contaminés ou d'eau polluée par les pesticides, comme l'a révélé la crise du chlordécone dans les Caraïbes (Jannoyer-Lesueur et al., 2012). La deuxième dimension des coûts sociopolitiques est liée à la concentration foncière, entraînant des exclusions dans des sociétés agraires où les droits fonciers sont peu stabilisés et les flux migratoires de main-d'œuvre plus ou moins maîtrisés (Iyebi Mandjek, 2013). Les coûts cachés environnementaux portent sur les relations de causalités aujourd'hui établies entre l'intensification agricole et la diminution de la biodiversité végétale et animale, dans un contexte où les ressources de biodiversité peuvent être déterminantes des capacités d'innovation futures des communautés rurales, notamment face aux enjeux du changement climatique. Ils concernent aussi la ressource en eau, dont la disponibilité se réduit à des usages de consommation humaine et animale. Ces coûts environnementaux portent également sur les émissions de gaz à effets de serre (CO<sub>2</sub> et méthane), à la fois pour les activités de production et de transports.
- La diminution d'efficacité pour la réalisation de la sécurité alimentaire. À ce niveau, des travaux réalisés dans des situations géographiques différentes aboutissent à trois constats :
  - La déconnexion entre l'accroissement des disponibilités alimentaires et la sécurité nutritionnelle :
    - elle est notamment révélée par le paradoxe de Sikasso au Mali (Dury et al., 2012) montrant une augmentation de l'insécurité nutritionnelle de la population infantile dans les zones d'accroissement de la production agricole ;
    - elle s'observe aussi dans la croissance des maladies non transmissibles (obésité, etc.) liées à l'accroissement de la consommation alimentaire dans les pays en transition.
- La stagnation des rendements est un autre indicateur de la diminution d'efficacité des systèmes agro-industriels au regard des enjeux de sécurisation alimentaire. Elle concerne principalement le maïs (USA), le blé (Europe), le riz (Asie) qui assurent la sécurité alimentaire mondiale (Petit, 2011).
- La faible adoption de la révolution verte en Afrique et dans les Caraïbes. De nombreux travaux (Nyemeck et al., 2006 ; Dorin et al., 2013) soulignent la lenteur ou l'échec du transfert de la révolution verte en Afrique et dans les Caraïbes. L'explication dominante apportée dans cette littérature pointe :
  - l'inadaptation des conditions institutionnelles et des structures productives à la mise en œuvre des innovations que propose la recherche scientifique. L'environnement institutionnel des politiques d'innovation serait défaillant pour assurer l'accès aux intrants, mais également maîtriser les connaissances et disposer des bonnes informations pour utiliser ces intrants ;
  - l'atomisation des structures agricoles familiales limiterait les innovations pour l'intensification, du fait de risques trop élevés. Elle induirait aussi des coûts de commercialisation et de transaction qui limiteraient la production de volumes importants avec une qualité homogène pour répondre aux demandes des marchés urbains.

Les conditions de transition socio-démographique sont par ailleurs considérées de manière générale comme peu favorables à une mécanisation à grande échelle en Asie et en Afrique. L'augmentation continue de la population active agricole, malgré les flux migratoires vers les villes (Dorin et al., 2013), exerce une pression sur les terres les plus fertiles, conduisant

dans certaines régions à une diminution des superficies cultivables par actif agricole. Par ailleurs, le développement limité de l'industrie ou des services ne favorise pas les migrations intersectorielles et la diminution de la population active agricole.

Enfin, la dépendance des capacités d'innovation des agricultures africaines aux firmes agrochimiques soulève des contestations (Reece, 2007). Par exemple, les conditions juridiques de l'utilisation des semences améliorées dépossèdent les agricultures locales de la maîtrise de leur source d'approvisionnement. Le verrouillage technologique (Vanloqueren et al., 2009) qu'implique l'utilisation de semences améliorées est aussi critiqué pour l'utilisation d'intrants chimiques dédiés à ces semences. Ainsi 80 % de la production des semences des cinq filières clés de la sécurité alimentaire mondiale (maïs, blé, riz, pomme de terre, soja) sont contrôlés par moins d'une dizaine d'entreprises multinationales (Tansey et al., 2008). Ces firmes maximisent avant tout des objectifs de rentabilité financière qui ne répondent pas forcément aux besoins d'innovations des agriculteurs pour faire face à des situations d'insécurité alimentaire (Ghosch, 2010).

#### 4. L'émergence de trajectoires d'innovation agroécologique

Un autre type de trajectoires d'innovation a été « réactivé » et renouvelé à partir des années 1980 dans différents contextes géographiques et en fonction de problématiques différentes (Griffon, 2006 ; Altieri et al., 2012). Les trajectoires d'innovation agro-écologique (Figure 2) se sont affirmées au Nord comme au Sud, portées par différents enjeux sociopolitiques. Dans les pays industrialisés (USA) ou émergents comme le Brésil et l'Argentine (Goulet et al., 2012), ce type de trajectoires est mis en œuvre surtout pour tenter d'enrayer la décroissance des rendements. Dans certains pays en transition, elle a pour objectif l'autonomie du système productif pour faire face à des difficultés d'approvisionnement externe, voire même à un blocus économique comme à Cuba. En Europe, les déterminants répondent plus à des enjeux de protection environnementale et de construction de systèmes alternatifs à la production agro-industrielle, en jouant sur l'évolution des préférences alimentaires de certaines catégories de la population. En Afrique, elle tend à répondre plutôt à l'objectif de réhabiliter le rôle de l'agriculture comme secteur créateur d'emplois.

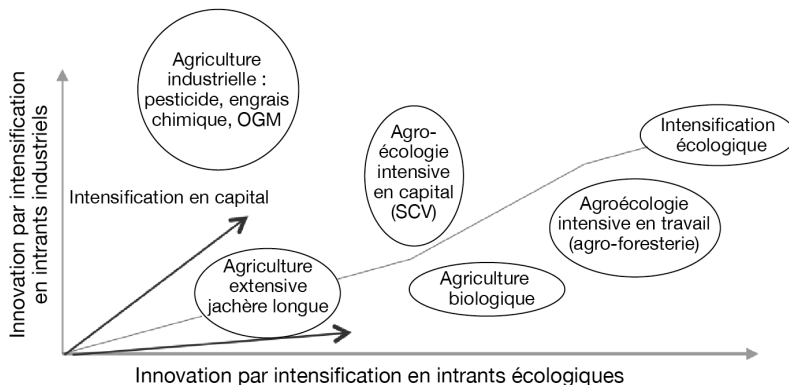


Figure 2. Trajectoires d'intensification de la fonction de production des systèmes agricoles et alimentaires.

Ce type de trajectoires agroécologiques répond à quatre postulats dominants :

- en premier lieu, l'écologisation de la fonction de production serait possible en utilisant les potentialités des écosystèmes pour diminuer ou éviter le recours aux intrants de synthèse. L'écologisation conditionne alors l'utilisation d'intrants chimiques à une optimisation du

fonctionnement des éco-systèmes (Wezel et al., 2009). Elle renvoie à une gamme large d'innovations autour des concepts d'agriculture de conservation (Scopel et al., 2013), d'agroforesterie et de production intégrée. La figure 2 propose une représentation graphique des deux trajectoires. Elle positionne les principaux concepts qui structurent l'innovation en agriculture selon le type d'intensification dominante de la fonction de production ;

- en second lieu, l'intensification en connaissances sur les écosystèmes et la conduite des plantes implique d'investir dans le capital humain, de développer des compétences modifiant les bases de connaissance et faire de chaque agriculteur un « ingénieur agronome » ;
- le troisième postulat avance que la recherche d'efficience peut se réaliser par des économies de gamme, la proximité entre producteurs et consommateurs (circuits courts), les systèmes agro-alimentaires localisés (Muchnik et al., 2007) qui mobilisent l'investissement des agricultures familiales dans la transformation des produits ;
- enfin, le quatrième concerne la structure même de l'exploitation agricole qui reste familiale, mais devient de plus en plus diversifiée.

Le développement de ce type de trajectoires agro-écologiques s'appuie sur un changement de modèle d'innovation qui met en avant la nécessité d'hybrider différentes sources de connaissance, de faire échanger et participer une diversité d'acteurs et de mener des expérimentations locales partagées en réseau. La recherche devient un acteur parmi d'autres. Elle contribue à structurer les cadres institutionnels qui activent les interactions entre acteurs (Klerkx et al., 2010). L'innovation pour une transition écologique de l'agriculture industrielle exige ainsi de modifier les méthodes de conception de l'innovation dans l'agriculture des pays en développement (Spielman et al., 2010).

## 5. Les limites des trajectoires agro-écologiques

Ce type de trajectoires fait aussi l'objet de controverses (Pretty et al., 2011 ; Sumberg et al., 2013).

Fondée sur une intensification en travail (en termes quantitatif et qualitatif), les conditions d'activation d'innovations agroécologiques posent la question de la rémunération du travail des agriculteurs au regard de sa pénibilité. Cette intensification doit tenir compte du coût d'opportunité du travail qui dépend du développement intersectoriel et des migrations humaines.

Des controverses sont formulées sur l'efficacité technique des systèmes agroécologiques en termes de rendement qui sont variables selon les spéculations, mais souvent inférieurs pour les principales productions céréalières des pays industrialisés (20 % pour le blé, par exemple). Cette efficacité technique moindre et des exigences de rémunération plus importante du travail impliqueraient la nécessité de prix plus élevés, réduisant l'accessibilité de ces produits aux consommateurs et donc la sécurité alimentaire.

Les controverses portent également sur les conditions du soutien des politiques publiques, à la fois en termes de recherche, d'enseignement et d'appui à la mise en œuvre des innovations (par exemple, les aides à la conversion en agriculture biologique), mais aussi sur les coûts de transition vers une agriculture plus intensive en connaissances agronomiques. Enfin, le maintien d'une agriculture familiale atomisée pose la question des innovations organisationnelles et des actions collectives permettant aux agriculteurs de répondre aux exigences logistiques des systèmes d'approvisionnement des marchés urbains (Temple et al., 2014). Le fonctionnement, la réactivité et le coût d'une telle organisation ranime notamment les débats sur les fondements et l'évolution des coopératives agricoles.

## 6. Évaluation d'impact sur la sécurité alimentaire des deux types de trajectoires

La caractérisation de ces deux grands types de trajectoires technologiques conduit dans un deuxième temps à analyser et questionner leur impact sur la sécurité alimentaire. Dans les deux types de trajectoires, cet impact est généralement évalué au regard des conséquences sur l'accroissement des disponibilités alimentaires, les rendements, la diminution des pertes et la production de nutriments spécifiques. On note toutefois que les travaux prennent de plus en plus compte des indicateurs relatifs à l'accessibilité, notamment en évaluant l'impact des innovations agro-alimentaires sur la pauvreté. Implicitement, la réalisation de la sécurité alimentaire apparaît comme une dérivée de la diminution de la pauvreté. On note alors une spécificité méthodologique d'évaluation d'impact sur la sécurité alimentaire selon chaque grand type de trajectoires.

Les travaux se référant aux trajectoires issues de la révolution verte utilisent plus fréquemment des indicateurs relatifs à la création de valeur ajoutée ou à l'augmentation des revenus monétaires. Les travaux se référant aux trajectoires agroécologiques utilisent par contre des indicateurs voulant montrer l'inclusion des petits producteurs dans la société et la réduction des inégalités. À notre connaissance, très peu d'évaluations ont abordé les conséquences des innovations techno-logiques sur la sécurité nutritionnelle ou sur le renforcement des capacités d'innovation des acteurs face aux nouveaux enjeux d'insécurité alimentaire.

## 7. Changement de modèle d'innovation : l'innovation agro-écologique pour la sécurité alimentaire sur l'igname en Haïti et le plantain au Cameroun

Des travaux menés en Haïti sur la production d'igname et au Cameroun sur le plantain montrent comment un changement de modèle d'innovation a permis de réaliser une écologisation de la fonction de production en agriculture.

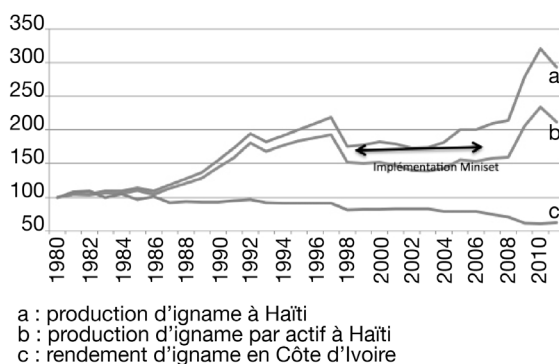
La première situation montre comment la tentative d'introduction en Haïti des technologies de production de minisets sur l'igname, mises au point au Nigeria, a échoué dans le cadre de démarches de transferts technologiques diffusionnistes conventionnelles entre les années 1990-2000. Le changement de modèle d'innovation a été alors au centre de changements technologiques basés sur le couplage entre l'usage par les sociétés agraires de connaissances fondamentales jusqu'alors sans impact productif et l'adaptation de la technologie aux intrants produits à partir de l'écosystème local (par différence avec des technologies conçues pour être optimales avec des intrants standardisés industriels). Ce changement s'est opéré en deux temps (Boyer et al., 2014 ; Temple et al., 2014) :

- dans un premier temps, il y a eu une intégration des connaissances des agriculteurs sur la production d'igname (cycle de production) ; cela a conduit à une série de réglages, touchant par exemple à la taille appropriée des plants à distribuer ;
- dans un deuxième temps, on a assisté à une écologisation de la technologie de multiplication de plants d'igname. Le recours à des intrants chimiques peu accessibles (dépenses monétaires) étant un facteur limitant à la mise en œuvre de la technologie concernée, la recherche agronomique a accompagné les agriculteurs dans la production d'intrants locaux se substituant aux intrants externes.

Le passage d'un modèle d'innovation diffusionniste à un modèle participatif et constructiviste a débloqué le processus de développement de l'innovation considérée. En 10 ans, le taux d'adoption de la nouvelle technologie a crû de 70% après la reformulation du modèle

d'innovation. Ce changement se traduit par une forme de « démocratisation » de la production de semences d'igname, autrefois réservée aux seuls grands producteurs. Les indicateurs d'impacts micro-économiques sur les producteurs révèlent une augmentation de 15 % de la productivité du travail et de 10 % des revenus monétaires générés par la production d'igname. Au niveau national, on constate en Haïti une croissance exponentielle de la production d'igname qui atteint 123 000 tonnes en 2011. En utilisant les données nationales (certes imparfaites), on constate que la productivité du travail a augmenté plus rapidement que les rendements en Haïti, ce qui contribue à l'augmentation significative de la production d'igname (Figure 3).

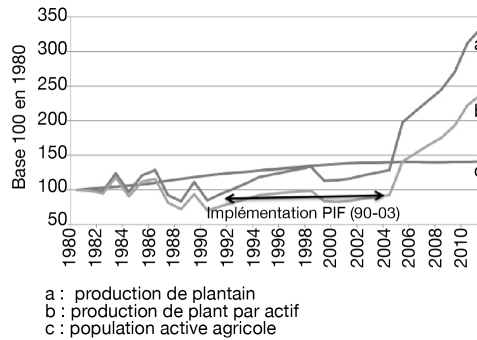
Nous avons comparé ce développement de l'igname en Haïti avec la production d'igname en Côte d'Ivoire (Ouatarra et al., 2012) (Figure 3), pour vérifier si d'autres variables plus globales (structurelles ou technologiques) pouvaient expliquer l'accroissement constaté en Haïti. Cette comparaison confirme que l'accroissement de la productivité est spécifique en Haïti. Il intervient de manière significative à l'issue de la mise au point locale de la technique des minisets en 2008 et non de son introduction (Boyer et al., 2014). La convergence entre les résultats micro et macro renforce l'hypothèse d'une relation de causalité entre l'adoption de cette innovation et l'activation des potentialités d'accroissement de la productivité et des revenus à partir d'une trajectoire technologique fondée sur l'hybridation des connaissances scientifiques et paysannes, ainsi que la valorisation des intrants locaux en relation avec les potentialités des écosystèmes.



**Figure 3.** Productivité d'igname (Côte d'Ivoire et Haïti).

Dans le cas du plantain au Cameroun, les travaux de diagnostic sur les blocages des processus d'innovation ont identifié entre les années 1990-2000 un goulet d'étranglement de la production liée à la pénurie quantitative et qualitative du matériel végétal de plantation, en relation avec les méthodes de multiplication mobilisables. Ce diagnostic a structuré la mise au point d'une nouvelle méthode de multiplication de rejets *in vivo* appropriable par les agriculteurs intitulée « Plants issus de Fragmentation de Tiges » (Kwa, 2003). La procédure de mise au point s'est faite entre 1998 et 2002 dans des plateformes d'expérimentation délocalisées dans différentes zones de production faisant interagir différentes disciplines et différents acteurs : groupement de producteurs, ONG, vulgarisation publique (Temple et al., 2011). Un axe central de ce processus concerne la prise en compte des capacités d'investissements des petites exploitations pour mettre en œuvre cette technologie grâce à l'autoproduction des intrants nécessaires à celle-ci (rejets, sciures). Un autre a porté sur la structuration de projets de formation à l'échelle nationale. Depuis 2002, le taux d'adoption de cette nouvelle technologie n'a cessé d'augmenter. Sur la base des échantillons d'adoptants suivis par la recherche, les rendements du plantain ont augmenté de 20 % et la productivité

du travail de 15 %. Cette augmentation se réalise par une augmentation des rendements liée à l'accroissement des densités de plantation, l'amélioration de la durée de vie des parcelles du fait de l'assainissement du matériel de plantation, l'adaptation des choix variétaux aux différents écosystèmes. À l'échelle nationale, depuis 2005, la production de plantain au Cameroun connaît une croissance exponentielle référencée par le couplage entre l'augmentation des superficies et l'augmentation de la production par actif (Figure 4).



**Figure 4.** Productivité du plantain au Cameroun.

Source : données FAO-Stat, calculs Ludovic Temple, 2013.

Les deux exemples traités montrent que les avancées de connaissances scientifiques sont des conditions nécessaires, mais pas suffisantes, des processus d'innovation. Des conditions supplémentaires doivent être remplies pour permettre l'hybridation du savoir des chercheurs avec celui des agriculteurs. Cette hybridation impose des modèles d'innovation qui font interagir les acteurs dans les différentes phases du processus. Les deux exemples montrent que l'implication des utilisateurs dans le processus de recherche est nécessaire pour adapter l'innovation technologique aux conditions locales qui sont hétérogènes en fonction des écosystèmes ou des conditions socio-économiques de production. Cette démarche est différente de celle qui adapte les conditions de production aux spécificités de l'invention que peut proposer la recherche. Dans les deux cas, caractérisés par des difficultés d'accès aux intrants industriels, le renforcement des capacités à autoproduire les intrants à partir des potentialités des écosystèmes a été une condition clé de l'adoption à grande échelle des technologies promues.

## 8. Conclusions

L'évolution du concept de sécurité alimentaire interroge la capacité des trajectoires technologiques d'intensification industrielle de l'agriculture à apporter des réponses satisfaisantes. Les controverses que soulève ce type de trajectoires concernent les effets sociaux, environnementaux ou économiques des technologies développées, mais aussi la pertinence du modèle d'innovation qui lui est associé. Celui-ci repose sur une distanciation entre l'activité de recherche au sein d'entreprises multinationales ou de laboratoires, et les utilisateurs finaux, plus particulièrement les agriculteurs des pays du Sud.

Comme le prouvent les deux exemples présentés concernant la mise au point locale de méthode de production de semences d'igname (en Haïti) et de plantain (au Cameroun), l'émergence de trajectoires fondées sur l'écologisation de la fonction de production et la valorisation des ressources locales constitue une alternative pour lever des « verrous technologiques ». De telles approches contribuent à la transition écologique de la fonction de production tout en permettant un accroissement de la productivité. Le renforcement des capacités d'autoproduction de semences est en effet dans les deux cas un moyen pour favoriser des capacités d'innovation endogène



fondées sur l'agro-biodiversité (Mc Guire et al., 2011 ; Pautasso et al., 2013). L'affranchissement ou la diminution de la dépendance aux intrants extérieurs, grâce à la (re)production d'intrants locaux, a été un facteur d'accélération du mécanisme d'adoption. L'adaptation des choix variétaux à la diversité des écosystèmes et des conditions de production diffère d'une logique de standardisation de ces conditions. Le renforcement des capacités lié à cette écologisation de la fonction de production joue sur plusieurs dimensions de la sécurisation alimentaire, même si les impacts nutritionnels ne peuvent être démontrés dans nos deux exemples (absence d'indicateurs).

Les conditions de réalisation de ce type de trajectoires alternatives s'appuient sur une construction conjointe de savoirs innovateurs locaux et de connaissances scientifiques, permettant d'optimiser les potentialités des écosystèmes. Elles supposent un changement de modèle d'innovation en associant le partage de ces différents savoirs aux différentes étapes du processus, depuis la conception et l'implémentation jusqu'à la dissémination et l'évaluation. De nouvelles bases de connaissances hybrides se constituent à partir de l'interaction entre une plus grande diversité d'acteurs, incluant des chercheurs et des agriculteurs. Les deux études de cas montrent le rôle central des interactions entre institutions de recherche, sociétés agraires et acteurs du développement dans la genèse de connaissances partagées nécessaires à un changement de trajectoire technologique.

## Bibliographie

- Altieri M.A., Funes-Monzote F.R., Petersen P., 2012. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agronomy for Sustainable Development*, **32**(1), 1-13.
- Boyer J., Temple L., Scutt R., 2014. Étude de cas : la technique Minisett en Haïti, une innovation co-construite entre chercheurs et producteurs dans le respect des conditions locales et des enjeux agro-écologiques. *Field Actions Science Reports*, **Special Issue 9**, <http://factsreports.revues.org/2779>.
- Carlson B., 2006. Internationalization of innovation systems: a survey of the literature. *Research Policy*, **35**(1), 56-67.
- Dorin B., Hourcade J.C., Benoit-Cattin M., 2013. *A world without farmers? The Lewis path revisited*. Working papers no 47. CIRAD, Paris.
- Dury S., Bocoum I., 2012. Le « paradoxe » de Sikasso (Mali) : pourquoi « produire plus » ne suffit-il pas pour bien nourrir les enfants des familles d'agriculteurs? *Cahiers Agricultures*, **21**(5), 324-336.
- Fournier S., Touzard J.M., 2014. La complexité des systèmes alimentaires : un atout pour la sécurité alimentaire ? *VertigO*, **14**(1), <http://id.erudit.org/iderudit/1027948ar>
- Francis J.A., 2010. Innovation systems, food security and economic development: lessons from the ACP region. *Acta Horticulturae*, **879**, 681-693.
- Garnier E., Debref R., 2014. Les divergences au sein de la composante technico-scientifique du nouveau système sectoriel d'innovation de la chimie doublement verte. *Innovations*, **43**, 39-59.
- Gérard F. & Marty I., 1995. Les politiques d'accompagnement de la révolution verte en Asie. *Revue d'Économie du Développement*, **2**, 93-114.
- Ghosch J., 2010. The unnatural coupling: food and global finance. *Journal of Agrarian Change*, **10**(2), 72-86.
- Goulet F., Magda D., Girard N., Hernandez V., 2012. *L'agroécologie en Argentine et en France : regards croisés*. L'Harmattan, Paris.
- Griffon M., 2006. *Nourrir la planète pour une révolution doublement verte*. Éditions Odile Jacob, Paris.
- Hall A., 2005. Capacity development for agricultural biotechnology in developing countries: an innovation systems view of what it is and how to develop it. *Journal of International Development*, **17**(5), 611-630.
- Iyebi Mandjek O., 2013. *Mobilités, migrations, territoires et identités au Nord Cameroun*. Thèse : Université Paris 1 (France).



- Jannoyer-Lesueur M. et al., 2012. Chlordécone aux Antilles : évolution des systèmes de culture et leur incidence sur la dispersion de la pollution. *Agronomie, Environnement et Sociétés*, **2**(1), 45-58.
- Klerkx L., Aarts N., Leeuwis C., 2010. Adaptive management in agricultural innovation systems: the interactions between innovation networks and their environment. *Agricultural Systems*, **103**(6), 390-400.
- Kwa M., 2003. Activation of latent buds and use of banana stem fragments for the *in vivo* mass propagation of seedlings. *Fruits*, **58**, 315-328.
- Mc Guire S., Sperling L., 2011. The links between food security and seed security: facts and fiction that guide response. *Development in Practice*, **21**, 4-5.
- Muchnik J., Requier-Desjardins D., Sautier D., Touzard J.M., 2007. Systèmes agroalimentaires localisés. *Économies et Sociétés*, série AG, **29**, 1465-1484.
- Nyemeck B.J., Nkamleu G.B., 2006. Potentiel de productivité et efficacité technique du secteur agricole en Afrique. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, **54**(3).
- Ouatarrá Y., Kouadio K.E., 2012. Les recherches sur l'igname en Côte d'Ivoire : bilan et perspectives. In : Kipré P., Ngbo A. *Agriculture et sécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest. Bilan et perspectives*. L'Harmattan, Paris, 265-277.
- Pautasso M., Aistara G., Barnaud A., 2013. Seed exchange networks for agrobiodiversity conservation. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, **33**(1), 151-175.
- Petit M., 2011. *Pour une agriculture mondiale, productive et durable*. Éditions Quæ, Versailles, France.
- Peto K., Nagy J., 2013. Pesticide productivity and food security. A review. *Agronomy Sustainable for Development*, **33**(1), 243-255.
- Pretty J., Toulmin C., Williams S., 2011. Sustainable intensification in African agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, **9**(1), 5-24.
- Reece J.D., 2007. Does genomics empower resource-poor farmers? Some critical questions and experiences. *Agricultural Systems*, **94**(2), 553-565.
- Scopel E. et al., 2013. Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, **33**(1), 113-130.
- Spielman D.J., Davis K., Negash M., Ayele G., 2010. Rural innovation systems and networks: findings from a study of Ethiopian smallholders. *Agriculture and Human Values*, **28**(2), 195-212.
- Sumberg J., Thompson J., Woodhouse P., 2013. Why agronomy in the developing world has become contentious. *Agriculture and Human Values*, **30**(1), 71-83.
- Tansey G., Rajotte T., 2008. *The future control of food. A guide to international negotiations and rules on intellectual property, biodiversity and food security*. Earthscan, London.
- Temple L., Kwa M., Tetang J., Bikoi A., 2011. Organizational determinant of technological innovation in food agriculture and impacts on sustainable development. *Agronomy for Sustainable Development*, **31**(4), 745-755.
- Temple L., Boyer J., Briend A., Daméus A., 2014. Les conditions socio-économiques de l'innovation agro-écologique pour la sécurisation alimentaire dans les jardins agroforestiers en Haïti. *Field Actions Science Reports*, **Special Issue 9**, <http://factsreports.revues.org/2817>.
- Touzard J.M., Temple L., 2012. Sécurisation alimentaire et innovations dans l'agriculture et l'agroalimentaire : vers un nouvel agenda de recherche? *Cahiers Agricultures*, **4**(21).
- Touzard J.M., Temple L., Faure G., Triomphe B., 2014. Systèmes d'innovation et communautés de connaissances dans le secteur agricole et agroalimentaire. *Innovations*, **43**, 13-38.
- Vanloqueren G., Baret P.V., 2009. How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations. *Research Policy*, **38**(6).
- Wezel A. et al., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, **29**(1), 503-515.
- Wilson J.S., Otsuki T., 2004. To spray or not to spray: pesticides, banana exports and food safety. *Food Policy*, **29**(1), 131-146.

## Les déterminants de l'adoption d'innovations techniques sur maïs au Cameroun, une contribution à la sécurisation alimentaire

Mabah Tene Gwladys Laure, Université de Yaoundé II, E-mail : mabahlaure@yahoo.fr  
 Temple Ludovic, Cirad, E-mail : ludovic.temple@cirad.fr  
 Havard Michel, Cirad, E-mail : michel.havard@cirad.fr

### Résumé

Au Cameroun, la diffusion du maïs s'est accélérée en réponse à une demande croissante. Son extension dans les zones rurales concourt à améliorer la sécurité alimentaire via la diversification des revenus et l'accroissement des disponibilités alimentaires. Afin d'accroître les rendements, des hybrides ont été produits par la recherche agricole. Nous explicitons ici les déterminants du processus d'adoption pour la culture du maïs du paquet technique (semences améliorées, engrais chimiques, pesticides, monoculture) vulgarisé par les services agricoles étatiques. Il s'agit du contact avec les services de vulgarisation, la location des terres, l'orientation marchande de la production, la superficie cultivée en maïs. Cependant, les exploitants enquêtés n'adoptent en majorité qu'un, deux ou trois éléments du paquet technique selon leurs besoins et stratégies spécifiques. Ceci remet en question le modèle linéaire d'innovation et interpelle la recherche et la vulgarisation agricoles pour des propositions techniques qui optimisent la diversité et l'hétérogénéité des systèmes locaux de production.

### 1. Introduction

Les récentes perspectives démographiques en Afrique (Dorin et al., 2013) et diagnostics sur la sécurité alimentaire au Cameroun (De Schutter, 2010) convergent sur le constat d'une localisation dominante des situations d'insécurité alimentaire dans les zones rurales. Cette localisation interpelle les capacités des agricultures à innover au sens large pour diminuer cette insécurité. C'est ainsi que des technologies et techniques de production à haut rendement ont été développées par la recherche agronomique.

Si la sécurité alimentaire renvoie à plusieurs dimensions objectives et subjectives (Touzard, Temple, 2012), deux ensembles d'indicateurs dominants permettent d'évaluer les innovations agronomiques dans leur contribution à la sécurité alimentaire. Le premier renvoie aux indicateurs conventionnels d'accroissement de la productivité (rendements, calories, réduction des pertes post-récolte). Il pose pour hypothèse que la sécurité alimentaire passe par l'accroissement de la production physique. Cet ensemble est de plus en plus controversé au regard de situations qui révèlent la coexistence d'abondance de la production et d'insécurité nutritionnelle structurelle (Dury, Bocoum, 2012). De plus, ces indicateurs de rendement sont peu significatifs pour comparer la productivité alimentaire des systèmes. En effet, la production des systèmes associés génère une gamme de production élargie avec des cycles différents non prise en considération. Ces indicateurs rendent également peu compte de la productivité du travail au centre des décisions des agriculteurs. Le deuxième ensemble, quant à lui concerne les conditions d'accès aux productions alimentaires déterminées par l'augmentation des revenus, l'inclusion des petits agriculteurs. Bien comprendre les interactions entre innovations agronomiques et sécurité alimentaire est nécessaire pour élaborer des politiques d'innovation adéquates.

Au Cameroun, la diffusion du maïs s'est accélérée depuis ces 20 dernières années en réponse à une demande croissante portée tant par la consommation humaine que par le

développement de l'élevage et du secteur agro-industriel (Fofiri et al., 2010). On estime à 2/3 la proportion de la population dont le maïs constitue la base de l'alimentation (Gergely, 2002). Principale culture vivrière, le maïs est cultivé par 42,7 % des ménages agricoles camerounais, dont 69,3 % à l'Ouest Cameroun (INS, 2008); il est dans cette région un élément clé des systèmes d'association vivrière mais également une culture de rente notamment dans les exploitations caféières. L'extension du maïs dans les zones rurales concourt à une amélioration de la sécurité alimentaire par les revenus de diversification qu'il génère et par le renforcement des disponibilités alimentaires mobilisables dans les exploitations.

La diffusion de cette production se réalise par plusieurs trajectoires technologiques. La première repose sur une insertion dans les systèmes de culture existants en mobilisant peu d'intrants industriels (engrais chimiques, pesticides). Elle suppose la possibilité de sélectionner les variétés adaptées aux différents écosystèmes localisés, systèmes de cultures (associations, rotations), types d'exploitation. Elle est favorisée par la capacité des agricultures à maîtriser les sources de l'agro-biodiversité et permet d'activer des processus d'innovation agro-écologiques. Elle recouvre une diversité de configurations, de systèmes de culture et de production qui hybrident les propositions et inventions de la recherche et celles générées par les agriculteurs en fonction de leurs contraintes.

La seconde, dans le prolongement des principes de la révolution verte, est portée par les firmes semencières mondiales ou les centres de recherche dans la production d'hybrides à haut rendement quand ils sont associés à des paquets techniques intégrés qui reposent sur des intrants (engrais, pesticides) pour l'essentiel produits par le secteur agro-chimique. Cette trajectoire de diffusion est relayée au Cameroun par la recherche publique. Ces «paquets» sont souvent associés à une modernisation de l'agriculture pour augmenter la productivité via les rendements. Ils sont supposés répondre au double enjeu de la sécurité alimentaire et de la lutte contre la pauvreté. Des variétés améliorées de semences ainsi que des fiches techniques de production adaptées à chaque zone agro-écologique sont proposées par l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) depuis une vingtaine d'années. Cependant, ces propositions restent peu adoptées pour la culture du maïs (INS, 2008), l'accroissement de la production est plus lié à l'augmentation des superficies cultivées qu'à un accroissement des rendements. Or il existe une pression de plus en plus forte sur la terre, notamment dans la région de l'Ouest Cameroun (Nkendah, Temple, 2003), ce qui limite les possibilités d'extension des exploitations agricoles.

Pour certains auteurs, la faible adoption des paquets techniques et des variétés hybrides à haut rendement mises au point par la recherche agronomique expliquerait la faible productivité des exploitations en Afrique subsaharienne (Nkamleu, 2004; World Bank, 2007). Il est alors nécessaire de comprendre les déterminants institutionnels qui bloquent cette adoption pour une plus grande diffusion de ces technologies. Pour d'autres auteurs (Röling, 2009; Klerkx, 2012), la précédente proposition est incomplète. La non-adoption des paquets techniques est plutôt liée à l'inaptitude du modèle linéaire d'innovation à répondre aux conditions socio-économiques et aux attentes des producteurs. L'activation d'une trajectoire d'innovation répondant à des enjeux de sécurité alimentaire implique de renforcer les capacités d'innovation des agriculteurs par de nouvelles connaissances partagées sur les potentialités des écosystèmes, l'utilisation de connaissances ou d'intrants de la recherche agricole dans une logique d'optimisation graduelle de ces potentialités.

Pour éclairer ce débat, nous proposons de caractériser les déterminants du processus d'adoption en agriculture d'innovations techniques. Ce processus dans la littérature est déterminé tant par les caractéristiques socio-économiques des exploitants (Feder, Umali, 1993; Rogers, 2003) que par les variables institutionnelles et organisationnelles qui structurent les systèmes d'innovation (Temple et al., 2011) ou la nature des rendements d'adoption (croissants, décroissants) qui s'expriment à différentes échelles. Nous proposons d'expliciter ici en quoi les caractéristiques micro-économiques et les variables d'insertion institutionnelle

déterminent l'adoption du paquet technique (variétés de semences améliorées, engrais chimiques, pesticides, monoculture) qui accompagne la culture du maïs, notamment à l'Ouest Cameroun, et vulgarisé par les services agricoles étatiques. Pour cela, nous présentons le cadre méthodologique et les outils d'analyse mobilisés pour spécifier les relations entre la probabilité d'adopter le paquet technique et les déterminants de celle-ci. Nous présenterons ensuite les principaux résultats en les comparant à ceux d'études dans d'autres contextes.

## **2. Méthodologie**

### **2.1. Concepts**

L'adoption d'une innovation fait référence à la décision de mettre en œuvre des propositions techniques nouvelles dans des systèmes de production existants et d'améliorer progressivement leur utilisation. Elle dépend des caractéristiques socio-économiques des potentiels adoptants, des informations qu'ils reçoivent et de comment ils les utilisent (Feder, Umali, 1993 ; Rogers, 2003) ainsi que des conditions d'accès aux ressources nécessaires. Elle dépend aussi de la structure et de la nature des échanges qu'ils ont avec leurs réseaux sociaux et de leurs interactions avec les institutions qui accompagnent les transferts d'innovations notamment la vulgarisation agricole (Rogers, 2003 ; Young, 2007 ; Monge et al., 2008 ; Ali-Olubandwa et al., 2010). Elle dépend également de la compatibilité des caractéristiques des innovations à l'environnement institutionnel (normes, règles, valeurs), technologique (systèmes techniques existants, savoir-faire, risques) et économique (accessibilité des facteurs de production nécessaires) des potentiels adoptants et de la perception qu'ils ont des caractéristiques des innovations qui leur sont proposées et des conséquences de celles-ci sur leur niveau de vie (Rogers, 2003).

### **2.2. Modélisation des mécanismes d'adoption**

Une invention ou un paquet technique peut être qualifié d'innovation quand il conduit à modifier un système de production de manière significative et durable.

L'adoption d'une innovation peut de manière conventionnelle être modélisée comme un choix entre deux alternatives : adopter ou ne pas adopter. En réalité, le processus d'adoption est plus complexe : l'adoption peut être partielle, d'intensité variable, temporaire.

Dans la présente étude nous adopterons une acception simplifiée en utilisant un modèle de choix discrets (le modèle logit) pour spécifier les relations entre la probabilité d'adopter le paquet technique vulgarisé et les déterminants de celle-ci. La fonction logistique étant la plus fréquemment utilisée pour analyser de manière quantitative le processus d'adoption des innovations agricoles.

### **2.3. Les données utilisées**

Les données utilisées sont celles d'une enquête menée en mars 2010 dans le département du Noun (région de l'Ouest Cameroun). Cette zone a été retenue car presque tous les ménages agricoles (98 %) de ce département cultivent le maïs et il constitue la base de leur alimentation. L'enquête a été menée avec la collaboration des services du Ministère de l'Agriculture et du Développement rural, les structures d'appui à la filière maïs et la division départementale des enquêtes et statistiques agricoles. Un échantillon de 52 exploitants agricoles a été choisi de façon aléatoire et les données collectées auprès de ces exploitants portent sur leurs caractéristiques socio-économiques, leurs sources d'information sur les éléments du paquet technique vulgarisé, des variables institutionnelles (adhésion à une organisation de producteurs,

contact avec les services de vulgarisation agricole, mode d'accès à la terre), et sur l'adoption du paquet technique (l'exploitant enquêté a-t-il recours à tout ou partie du paquet technique, les raisons de son choix).

**Tableau 1.** Description des variables utilisées dans le modèle d'adoption.

Variables	Description
<b>Variable dépendante</b>	
Paquetechq	Paquet technique. Elle prend la valeur 1 si le paquet technique est adopté dans son ensemble, 0 si non
<b>Variables explicatives</b>	
Genre	Genre (1 = homme, 0 = femme)
Expmais	Nombre d'années d'expérience de la culture du maïs
Nivinstr	Niveau d'instruction (1 = n'a pas été scolarisé, 2 = niveau primaire, 3 = niveau secondaire 1 <sup>er</sup> cycle, 4 = niveau secondaire 2 <sup>e</sup> cycle, 5 = niveau universitaire)
Orienpro	Principale orientation de la production (1 = Autoconsommation, 0 = Vente)
Tailexplmais	Taille de l'exploitation de maïs (mesurée en hectares)
Foncier	Mode d'accès à la terre (1 = propriété, 0 = location)
Sourcerev	Source de revenus autre qu'agricole (1 = oui, 0 = non)
Gic	Membre d'une organisation de producteurs (1 = oui, 0 = non)
Vulgarisation	Contact avec des services de vulgarisation agricole (1 = oui, 0 = non)

### 3. Résultats

#### 3.1. Caractéristiques des répondants et de leurs exploitations

Si la plupart des répondants sont des hommes, qui possèdent le plus souvent les terres, les femmes (42% de l'échantillon) jouent un rôle central dans la culture des produits alimentaires dont le maïs. La grande majorité d'entre elles cultivent à leur compte des parcelles mises à disposition par leur époux ou dans quelques cas reçues en héritage.

Les exploitants enquêtés sont âgés de 17 à 68 ans avec une moyenne de 45 ans. Ceux ayant 40 ans et plus sont les plus nombreux (79%) et sont en majorité des femmes. Les jeunes hommes s'intéressent plus à des activités non agricoles (petit commerce, transports publics et autres prestations de services) et migrent vers les centres urbains laissant les activités agricoles aux femmes et aux hommes plus âgés.

Presque tous les répondants (92%) ont été scolarisés. Pour 4/5 d'entre eux, la principale source de revenus est la vente de produits agricoles. Les autres sources de revenus sont l'élevage, le petit commerce, une activité salariale, des prestations de services diverses. La tenure foncière est appréhendée par le mode d'accès à la terre : 90% des exploitants agricoles interrogés sont propriétaires par héritage, don ou achat, des parcelles de maïs qu'ils cultivent, les autres principalement des allochtones les louent. Le maïs occupe une place importante dans l'alimentation et aussi dans la vie sociale des populations de cette région. Plus de la moitié (54%) des exploitants de l'échantillon cultivent le maïs depuis au moins 10 ans. Les superficies cultivées sont en majorité (65%) de 0,5 à 2 ha. Presque tous les exploitants enquêtés (92%) cultivent le maïs sur la moitié ou tout leur assolement, seul ou en association avec l'arachide, le haricot, le soja, le manioc, la morelle noire, le gombo, le piment. Les outils agricoles sont manuels et les techniques utilisées se transmettent d'une génération à une autre.

Plus de la moitié (54%) des répondants cultivent le maïs d'abord pour l'autoconsommation, une partie de la production est vendue pour répondre à des besoins ponctuels de trésorerie (dépenses de santé, événements sociaux, début de campagne agricole, rentrée scolaire). Pour d'autres répondants (46%) en revanche, la production est principalement destinée à la vente.

Tous les exploitants de l'échantillon disent discuter de leurs contraintes de production, des solutions expérimentées par les uns et les autres, des effets de nouvelles technologies et techniques de production avec les membres de leur entourage. De plus, environ 48 % sont en contact avec des services de vulgarisation agricole et prennent part aux stages pratiques et séminaires de formation organisés à leur intention.

Cependant, seulement 17 % des répondants adoptent le paquet technique vulgarisé dans son ensemble, les autres (83 %) n'adoptent qu'un, deux ou trois éléments. Les adoptants du paquet technique complet sont en majorité des hommes qui cultivent le maïs pour la vente sur plus de 4 ha et sont en contact avec les services de vulgarisation agricole.

### 3.2. Facteurs explicatifs de l'adoption du paquet technique vulgarisé

Quatre variables expliquent la probabilité d'adopter le paquet technique (Tableau 2). Il s'agit de la principale orientation de la production, du contact avec les services de vulgarisation agricole, du mode d'accès à la terre et de la superficie cultivée en maïs.

**Tableau 2.** Résultats de l'estimation du modèle logit.

Logistic regression				Number of obs	52	
				Wald chi2(9)	35.45	
Prob > chi2				0.0000		
Log pseudolikelihood		-8.8546602	Pseudo R2		0.6304	
Robust						
Paquetchnq	Coef	Std. Err	z	P> z	[95 % Conf. Interval]	
Genre	0,9299048	1,884804	0,49	0,622	-2,764242	4,624052
Expmais	-0,0539945	0,074784	-0,72	0,470	-0,2005684	0,0925794
Nivinstr	-0,1045823	0,7033214	-0,15	0,882	-1,483067	1,273902
Orienpro	-4,728085	1,477564	-3,20	0,001*	-7,624057	-1,832114
Tailexplmais	1,382693	0,3657958	3,78	0,000*	0,6657461	2,099639
Foncier	-3,406163	2,008765	-1,70	0,090***	-7,34327	0,5309437
Sourcerev	3,17621	2,452951	1,29	0,195	-1,631487	7,983906
Gic	0,0979133	1,71419	0,06	0,954	-3,261837	3,457663
Vulgarisation	5,208021	2,127657	2,45	0,014**	1,03789	9,378152
_cons	-7,183604	3,757451	-1,91	0,056	-14,54807	0,1808646

Légende : \* significativité à 1 %, \*\* significativité à 5 %, \*\*\* significativité à 10 %.

La valeur numérique des coefficients du modèle logit n'ayant pas d'interprétation directe, l'effet des variables explicatives sur la probabilité d'adopter le paquet technique est appréciée à travers le calcul des effets marginaux (Tableau 3). Il en ressort que bien que la probabilité d'adopter le paquet technique vulgarisé croît avec la superficie cultivée en maïs, toute chose égale par ailleurs, l'accroissement de cette superficie d'un hectare n'augmente la probabilité d'adopter le paquet technique que de 0,2 %. L'orientation marchande de la production a en revanche une plus grande influence sur la probabilité d'adopter le paquet technique, elle accroît en effet celle-ci de 2 %. Ainsi, si un exploitant agricole passe de l'autoconsommation comme principale orientation de sa production de maïs à une orientation marchande, il est plus susceptible d'adopter le paquet technique. Cependant, le fait de louer les terres cultivées accroît de près de 3,3 % la probabilité d'adopter le paquet technique. Le calcul des effets marginaux



montre également qu'un exploitant agricole qui est en contact avec des agents de vulgarisation et participe à des démonstrations organisées par ceux-ci a une probabilité d'adopter le paquet technique vulgarisé plus grande que ses pairs. En effet, être en contact avec des services de vulgarisation accroît de près de 2,4 % la probabilité d'adopter le paquet technique.

**Tableau 3.** Effets marginaux.

Y = Pr (paquet technique) (predict)	0.00164234
Variable	dy/dx
Genre*	0.001471
Expmais	-0.0000885
Nivinstr	-0.0001715
Orienpro*	-0.0203651
Tailexplmais	0.0022671
Foncier*	-0.0333272
Sourcerev*	0.0177932
Gic*	0.000157
Vulgarisation*	0.0238557

Légende : (\*) dy/dx is for discrete change of dummy variable from 0 to 1.

## 4. Discussion

Cette étude met en évidence des éléments déterminants de l'adoption d'innovations agricoles (orientation marchande de la production, mode d'accès à la terre, superficie cultivée en maïs, contact avec les services de vulgarisation, les différences de personnalité, de niveau d'éducation et de situation économique) relevés dans de précédentes études (Feder, Umali, 1993 ; Caswell et al., 2001 ; Rogers, 2003 ; Young, 2007 ; Monge et al., 2008 ; Ali-Olubandwa et al., 2010 ; Temple et al., 2011).

L'effet de la terre comme facteur de production sur l'adoption du paquet technique est ici globalement positif, cependant il est intéressant de noter l'intensité de cet effet selon le mode d'acquisition de la terre. En effet, pour les exploitants propriétaires des terres cultivées, la décision d'accroître les superficies cultivées en maïs n'augmente que faiblement la probabilité d'adopter le paquet technique ; tandis que les exploitants qui louent les terres qu'ils cultivent sont plus enclins à intensifier les cultures qu'ils y font et de ce fait à adopter des technologies qui optimisent les rendements. C'est ainsi que l'on note ici que la location comme mode d'accès à la terre a un effet positif sur l'adoption du paquet technique.

Aussi, le contact avec des services de vulgarisation accroît la probabilité d'adopter le paquet technique. Cette relation positive s'explique par le fait que comme l'ont relevé précédentes études (Caswell et al., 2001 ; Rogers, 2003), lorsqu'une nouvelle technologie est introduite dans une région, il y a souvent une forte incertitude sur l'efficacité de celle-ci dans les conditions locales, l'incertitude diminue au fil du temps lorsque certains agriculteurs de la région adoptent et gagnent de l'expérience avec la nouvelle technologie, ils servent ensuite de référence aux autres agriculteurs de la région. Ces pionniers sont plus souvent que leurs pairs en contact avec des agents de vulgarisation avec lesquels ils discutent des avantages et inconvénients d'une innovation pour leur exploitation. C'est le cas dans la présente étude où les exploitants ayant adopté le paquet technique sont presque tous (90%) en contact avec les services de vulgarisation agricole. De précédentes études ont également souligné le fait que c'est généralement au sein d'organisations de producteurs et de groupes d'entraide que les exploitants agricoles discutent de leur activité avec leurs pairs, s'informent auprès d'eux,



partagent mutuellement leurs expériences et échangent sur de nouvelles technologies et techniques de production (Temple et al., 2011 ; Klerkx et al., 2012). Les informations ainsi recueillies ont un rôle dans le processus d'adoption. Près de 90 % des répondants ayant adopté le paquet technique sont membres d'une organisation de producteurs.

Nos résultats soulignent que 83 % des répondants n'adoptent que partiellement le paquet technique proposé. Leur choix porte sur un, deux ou trois éléments du paquet technique et la combinaison de ceux-ci répond à des besoins, stratégies et caractéristiques spécifiques. On peut différencier d'une part de jeunes exploitants ayant un niveau d'étude secondaire disposant de revenus non agricoles, n'étant pas en contact avec la vulgarisation agricole et qui n'adoptent qu'un ou deux éléments du paquet technique. Cette réticence des jeunes à intensifier la culture du maïs peut s'expliquer par le caractère incertain de la production agricole du fait de l'instabilité croissante des conditions climatiques et de la volatilité des prix. Disposant de ressources (travail, capital humain) pouvant être mobilisées dans d'autres activités relativement moins incertaines ou socialement mieux reconnues que l'activité agricole (petit commerce, transports publics et autres prestations de services), ces jeunes font un arbitrage entre activités agricoles et activités non agricoles et sont plus enclins à n'allouer que peu de ressources aux activités agricoles.

D'autre part, on a des agriculteurs (hommes et femmes) plus âgés, ayant été scolarisés (primaire et secondaire) qui ont surtout des revenus agricoles et qui adoptent 2 à 3 éléments du paquet technique du fait de leur contact avec la vulgarisation et de leur réseaux sociaux et familiaux. Les éléments les plus acceptés concernent le recours aux intrants (engrais, pesticides) utilisables dans les systèmes associés sur plusieurs cultures mais on note la difficulté d'adoption des nouvelles variétés et de la monoculture. Il est à souligner que la relation positive entre l'adoption de nouveautés techniques et l'âge est aussi constaté dans d'autres situations au Cameroun (Temple, Minkoua, 2013).

Le paquet technique proposé recommande la monoculture du maïs, or, traditionnellement dans cette région, les agriculteurs associent au maïs des légumineuses, des légumes, des racines et tubercules (Valet, 2004). Il a été montré que les légumineuses associées au maïs satisfont leur besoin en azote et libèrent les excès pour le maïs représentant ainsi une économie de fertilisant azoté. En monoculture, cet apport en azote doit être compensé par des engrais minéraux, ce qui engendre un coût qui peut être un frein à l'adoption de la monoculture.

La réticence à adopter les variétés améliorées de semences hybrides dans la littérature peut s'expliquer par plusieurs facteurs dont principalement la compatibilité des conditions d'utilisation de ces variétés (monoculture, utilisation d'intrants) avec les systèmes de production des agriculteurs. À un autre niveau, la dépendance technologique liée à la nécessité de racheter chaque année les semences et à la perte d'autonomie productive des agriculteurs est aussi un facteur explicatif fréquent notamment dans des agricultures familiales où l'aversion pour les risques est importante. C'est le cas dans notre zone d'étude où les techniques de production se transmettent de génération en génération, et où les agriculteurs sont plus familiers à l'usage d'engrais, de pesticides et de semences tirées de la précédente récolte.

L'insécurité alimentaire peut également expliquer le faible taux d'adoption du paquet technique. En effet, le maïs est cultivé par la plupart des répondants d'abord pour l'autoconsommation et ce dans de petites exploitations familiales ; or les ménages agricoles sont généralement averses au risque car ils doivent sécuriser l'alimentation et les besoins du ménage. Leur aversion pour le risque influence fortement leur décision d'adopter de nouvelles technologies. Leur désir de minimiser les risques de production et de sécuriser leur production actuelle affecte négativement leur propension à adopter de nouvelles technologies même si celles-ci sont accessibles (en termes de coût, de disponibilité et de compétences requises pour les mettre en œuvre), et peuvent améliorer leur productivité et les rendements de leurs exploitations (Kato et al., 2009).

## 5. Conclusion

Cette analyse montre que le contact avec les services de vulgarisation, la location des terres, l'orientation marchande de la production, la superficie cultivée en maïs augmentent la probabilité d'adopter le paquet technique (variétés de semences améliorées, engrais chimiques, pesticides, monoculture) vulgarisé par les services agricoles et qui accompagne la culture du maïs à l'Ouest Cameroun. Cependant, le faible taux d'adoption observé traduit une inadéquation du paquet technique proposé au contexte local de production et/ou aux besoins des agriculteurs et remet en question les modèles linéaires (des chercheurs aux exploitants agricoles) d'innovation. Il interpelle la recherche et les politiques d'innovation (vulgarisation, financement, approvisionnement en intrants) pour proposer une gamme élargie de propositions techniques qui permettent d'optimiser la diversité et l'hétérogénéité des systèmes locaux de production. Il s'agit notamment de mieux comprendre les processus incrémentaux d'innovation variétale et la compatibilité de ceux-ci aux nouvelles variétés proposées par la recherche agronomique. Cette « contextualisation » de la recherche et de la vulgarisation agricoles devrait permettre d'intégrer les connaissances et l'expertise des agriculteurs dans les programmes de recherche agronomique. La production de connaissances issues de ces interactions peut alors constituer une ressource potentielle pour la conception même des nouvelles variétés.

## Bibliographie

- Ali-Olubandwa A.M., Odero-Wanga D., Kathuri N.J., Shivoga W.A., 2010. Adoption of improved maize production practices among small scale farmers in the agricultural reform era: the case of western province of Kenya. *Journal of International Agricultural and Extension Education*, **17**, 21-30.
- Caswell M., Fuglie K., Ingram C., Jans S., Kascak C., 2001. *Adoption of agricultural production practices: lessons learned from the U.S. Department of Agriculture Area Studies Project*. Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture, Washington DC. Agricultural Economic Report n° 792.
- De Schutter O., 2010. *Food Commodities Speculation and Food Price crisis*. Briefing note 02. ONU, Washington DC.
- Dorin B., Hourcade J.C., Benoit-Cattin M., 2013. *A World Without Farmers? The Lewis Path Revisited*. Working paper n° 47. CIREN, Nogent-sur-Marne, France, <http://www.centre-cired.fr/IMG/pdf/CIRENWP-201347.pdf>
- Dury S., Bocoum I., 2012. The Sikasso (Mali) "paradox": Why isn't "producing more" a sufficient means for feeding the children of farmers' families? *Cahiers Agricultures*, **21**(5), 324-36.
- Feder G., Umali D.L., 1993. The Adoption of Agricultural Innovations: a review. *Technological Forecasting and Social Change*, **43**, 255-98.
- Fofiri E.J. et al., 2010. L'émergence du maïs dans la consommation alimentaire des ménages urbains au Nord-Cameroun. *Économie Rurale*, 318-319, 65-79.
- Gergely N., 2002. *Étude sur l'amélioration de la commercialisation et de la compétitivité des produits agricoles. Rapport final de consultation*. CIRAD, Paris.
- INS (Institut National de la Statistique), 2008. *Conditions de vie des populations et profil de Pauvreté au Cameroun en 2007. Rapport principal de la troisième enquête camerounaise auprès des ménages*. Institut National de la Statistique, Yaoundé.
- Kato E., Ringler C., Yesuf M., Bryan E., 2009. *Soil and water conservation technologies: a buffer against production risk in the face of climate change? Insights from the Nile basin in Ethiopia*. IFPRI Discussion paper 00871. International Food Policy Research Institute, Washington DC.
- Klerkx L., Van Mierlo B., Leeuwis C., 2012. Evolution of systems approaches to agricultural innovation: concepts, analysis and interventions. In: Darnhofer I, Gibbon D., Dedieu B. (eds).

- Farming systems research into the 21<sup>st</sup> century: The new dynamic*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, p. 457-83.
- Monge M., Hartwich F., Halgin D., 2008. *How change agents and social capital influence the adoption of innovations among small farmers*. IFPRI Discussion paper 00761. International Food Policy Research Institute, Washington DC.
- Nkamleu G.B., 2004. L'échec de la croissance de la productivité agricole en Afrique Francophone. *Économie Rurale*, **279**, 55-67.
- Nkendah R., Temple L., 2003. Pression démographique et efficacité technique des producteurs de banane plantain de l'Ouest-Cameroun. *Cahiers Agricultures*, **12**, 333-339.
- Rogers E.M., 2003. *Diffusion of innovations*. Free Press, New York.
- Röling N., 2009. Pathways for impact: scientists' different perspectives on agricultural innovation. *International Journal of Agricultural Sustainability*, **7**(2), 83-94.
- Temple L., Kwa M., Tetang J., Bikoï A., 2011. Organizational determinants of technological innovation in food agriculture and impacts on sustainable development. *Agronomy for Sustainable Development*, **31**, 745-755.
- Temple L., Minkoua J.R., 2013. Conditions socio-économiques de la diversification horticole dans les systèmes de productions cacaoyers du sud Cameroun. In : *Cultures pérennes tropicales : Enjeux économiques et écologiques de la diversification*. Édition Quæ, Versailles, France, p. 197-208.
- Touzard J.M., Temple L., 2012. Sécurisation alimentaire et innovations dans l'agriculture et l'agroalimentaire : vers un nouvel agenda de recherche? *Cahiers Agricultures*, **21**(5), 293-301.
- Valet S., 2004. Effet de la sécheresse sur les associations culturelles vivrières de l'Ouest-Cameroun. *Sécheresse*, **11**, 239-247.
- World Bank, 2007. *World development report 2008: agriculture for development*. World Bank Publications, Washington DC.
- Young H.P., 2007. *Innovation diffusion in heterogeneous populations: Contagion, social influence and social learning*. CSED Working Paper n° 51. Brookings Institution, Washington DC.



## **‘Partir des solutions endogènes’ : des expériences de recherche-action paysanne au Burkina Faso, Mali et Sénégal dignes d’intérêt pour la recherche et les politiques de sécurité alimentaire en Afrique**

Mongbo Roch L., Université d’Abomey-Calavi, Bénin, E-mail : rochl\_mongbo@yahoo.fr  
 Kanouté Assetou, ADAF-GALE et IPR-Katibougou, Mali, E-mail : kalilouka@yahoo.fr  
 Koura Djibril, Diobass-Burkina Faso, E-mail : djibril\_koura@yahoo.fr

### **Résumé**

Le secteur agricole en Afrique au sud du Sahara est caractérisé entre autres par le difficile dialogue entre ses principales parties-prenantes. En effet, les chercheurs peinent à trouver de justes solutions aux contraintes paysannes, alors que ces derniers ont peine à s’approprier des technologies développées par les premiers. De leur côté, les politiques traînent à assurer l’environnement adéquat aux processus d’innovations agricoles et agro-alimentaires requis par le contexte global de libéralisation sauvage et de crises climatiques récurrentes. Au-delà des ajustements méthodologiques et institutionnels habituels, une remise en question des paradigmes qui sous-tendent la recherche et l’innovation en agriculture paraît indispensable. Il s’agit de réviser le postulat selon lequel seules les connaissances conformes aux thèses scientifiques en vigueur sont dignes d’intérêt. Une attention renouvelée à l’égard de savoirs paysans, y compris ceux défiant les thèses de la science peut être source de perspectives nouvelles pour la science en Afrique et d’opportunités d’innovations de grande portée sociale pour l’agriculture africaine. Cet article part de l’hypothèse que les connaissances paysannes sont des moteurs négligés de la production scientifique et des processus d’innovation, et devraient constituer une des bases de la recherche. Cette hypothèse est examinée à l’aune de données empiriques qui sont des cas d’innovations paysannes recensés au Sénégal, Mali et Burkina Faso. L’article présente en quelques détails les cas d’innovations contre le striga (destructeur des céréales en particulier) et la maladie de Newcastle (qui décime les élevages de volaille), deux contraintes majeures aux moyens d’existence des exploitations agricoles familiales. Il conclut qu’un meilleur regard pour les savoirs paysans par les chercheurs africains serait la clé d’un tournant majeur dans l’innovation agricole et la recherche scientifique en Afrique.

### **1. Introduction**

Les difficultés des chercheurs à trouver de justes solutions aux contraintes paysannes et celles des paysans à s’approprier des technologies développées par les chercheurs sont récurrentes en Afrique sub-saharienne. Il est avéré que la recherche et la vulgarisation agricoles peinent à (1) développer des technologies qui soient des réponses aux contraintes et aux risques que subissent les paysans à faible revenu et (2) améliorer les capacités des paysans à adapter les technologies existantes à leurs propres situations (Snapp et al., 2003). Les approches systèmes mises en œuvre à partir des années 1980, nourries par les courants néo-populistes géniteurs des approches participatives du début des années 1980 (Chambers, 1983) ont certes permis à la recherche agronomique d’approcher les préoccupations des petits paysans à travers des dispositifs de recherche-développement dans lesquels ces petits paysans ont depuis lors pris une part significative dans les processus de développement de technologies.

L’engouement concomitant pour les connaissances endogènes (Bell, 1979 ; Brokensha et al., 1980 ; Chambers et al., 1989) a permis d’améliorer le statut des paysans auprès des chercheurs. Par ailleurs, les réformes institutionnelles des années 1990 dans la foulée des

programmes d'ajustement structurel des économies africaines ont offert des opportunités de synergie et d'utilisation efficiente des maigres ressources matérielles et humaines disponibles au sein des systèmes nationaux de recherche et d'innovation agricole. De plus, les organisations paysannes se sont affirmées depuis les années 2000 comme acteurs incontournables dans les choix de stratégies et de politiques agricoles. Les conditions objectives ont été ainsi réunies pour qu'émergent des initiatives telles que l'*Integrated Agricultural Research for Development* (IAR4D) et les plateformes multi-acteurs pour le développement des innovations agricoles et agro-alimentaires.

Toutefois, malgré les avancées réalisées à la faveur de ces initiatives, les produits des recherches formelles demeurent hégémoniques dans l'offre technologique sans pour autant enclencher des processus durables d'innovation, situation qui préoccupe particulièrement les organisations nationales et sous-régionales de développement agricole. Pendant ce temps, les connaissances paysannes qui ne concordent pas avec les thèses scientifiques connues sont reléguées au rang de «mauvaises pratiques» quel que soit le crédit que leur accorde le monde paysan. Selon Scott (1998), les scientifiques sont sceptiques sur la valeur des connaissances endogènes et tendent à les ranger dans le lot des superstitions, de l'irrationnel et du tribalisme tant qu'elles ne sont pas formulées en des termes scientifiques (Mauro, Hardison, 2000). Pourtant, ces connaissances (techniques, organisationnelles et institutionnelles) font légion et en plus sont dynamiques et des recherches récentes (JOLISAA, PROLINNOVA, PROFEIS, les travaux de l'Association Diobass-Burkina pour ne citer que celles-là)<sup>1</sup> ne cessent d'en rendre compte. De nombreux paysans sont convaincus de la pertinence et de l'efficacité de ces innovations. Cet état de fait suggère de nombreuses questions dont quelques-unes seront abordées dans le présent article à savoir :

- Quel est l'intérêt de ces connaissances paysannes pour les exploitations agricoles et quelle est leur portée sociale ?
- Quel est leur pouvoir heuristique et quels liens peut-on établir entre ces connaissances paysannes et les processus endogènes d'innovation d'une part et la recherche agricole formelle de l'autre ?

Dans la suite de cet article, nous faisons une présentation sommaire de notre cadre conceptuel et méthodologique, de même que du contexte opérationnel dans lequel les innovations paysannes discutées ont été identifiées. À la suite d'un balayage synoptique des innovations identifiées ou développées à la faveur de ces opérations, quelques innovations endogènes particulières sont discutées pour les interrogations qu'elles soulèvent à l'attention de la recherche formelle et de la science. Les discussions finales examinent en quoi les connaissances et innovations endogènes constituent une opportunité pour la recherche agricole africaine aujourd'hui.

## 2. Cadre conceptuel et méthodologique

L'origine de la perspective que nous prenons dans cette étude sur les innovations paysannes remonte à l'évaluation en 2011 et 2012 de trois opérations de recherche-action en cours en Afrique de l'Ouest avec l'appui financier de MISEREOR<sup>2</sup>. Il s'agit de l'Association Diobass-

<sup>1</sup> Il s'agit de projets de recherche ou de recherche-action récents ou en cours en Afrique sur les innovations endogènes. JOLISAA: *Joint Learning in Innovation Systems in African Agriculture*; PROLINNOVA: *Promoting Local Innovation in ecologically-oriented agriculture and natural resource management*; PROFEIS: *Promoting Farmer Experimentation and Innovation in the Sahel*.

<sup>2</sup> MISEREOR est l'Agence de développement l'Église Catholique Allemande. Sa mission est de s'engager dans des partenariats avec toutes les bonnes volontés pour promouvoir le développement, lutter contre la pauvreté, libérer les peuples de l'injustice, rester solidaire avec les pauvres et les personnes persécutées, et aider à créer 'Un Monde'. [www.misereor.de](http://www.misereor.de) 31/05/2013.

Burkina Faso et des projets PROFEIS-Sénégal et PROFEIS-Mali. Avant une présentation de ces trois opérations, de l'hypothèse, des objectifs et des méthodes de cette étude, nous faisons ici une discussion sommaire des concepts de connaissances et d'innovations paysannes/endogènes.

## 2.1. Connaissances et innovations paysannes, solutions endogènes

Le sens pratique des paysans africains et la précarité de l'environnement naturel, institutionnel et politique d'exercice de leur métier les amènent à développer ou adapter en permanence des outils et techniques pour produire, puis à négocier les modes de valorisation des produits de leurs activités qui permettent un certain bien-être de leur ménage. Ces adaptations et stratégies génèrent de nouvelles connaissances, lesquelles sont en définitive des processus d'innovations, en permanentes mutations, et qui constituent des solutions endogènes à des problèmes vécus ici et maintenant.

Notre définition de connaissances et d'innovations paysannes ne suggère donc pas l'existence d'un stock ancestral de réponses/solutions à tout problème d'aujourd'hui, même si ce stock constitue pour les innovateurs paysans, un recours de premier ordre. Ces solutions anciennes sont combinées à des idées et pratiques nouvelles à leur portée d'où qu'elles viennent, de même qu'à l'observation permanente de la nature, pour produire et expérimenter des solutions à des problèmes techniques et sociaux du milieu de vie et de travail. Comme le souligne Bittner (1983, cité par Kloppenburg, 1991), dans cet exercice, le paysan a un regard attentif sur le temps et l'espace d'occurrence de son activité. Selon ce dernier, le caractère local de telles connaissances et solutions procède de ce qu'elles dérivent de l'expérience directe d'un processus de travail pratique, lequel est façonné par les caractères distinctifs d'un endroit particulier, avec un environnement physique et social unique (Kloppenburg, 1991).

## 2.2. Diobass-Burkina Faso, PROFEIS-Sénégal et PROFEIS-Mali

La naissance de l'Association Diobass-Burkina Faso remonte à 1996, comme branche burkinabè d'une association internationale Diobass Écologie et Société de droit belge. En 2009, Diobass-Burkina Faso a obtenu le statut d'organisation autonome de droit burkinabè. Il s'agit d'une association paysanne regroupant, à la date de janvier 2012, un total de 51 organisations paysannes réparties sur 7 régions et 11 provinces du pays. Le mode opérationnel de Diobass consiste à susciter en son sein, la constitution de Groupes de Recherche-Action (GRA) composés de paysans bénévoles, prêts à entreprendre des investigations auprès de sages et autres personnes ressources en milieu paysan pour identifier et expérimenter, de manière indépendante, des solutions à des problèmes auxquels ils sont confrontés dans leurs exploitations agricoles ou dans leurs communautés. En janvier 2012, il y avait eu 84 GRA ayant développé autant de solutions endogènes à des problèmes vécus. Selon le domaine dont relèvent les problèmes traités, les Groupes de Recherche-Action sont répartis dans trois espaces thématiques (Agriculture, Élevage et Socio-économie), qui constituent des espaces d'échange et d'apprentissage.

Les projets PROFEIS Mali et Sénégal ont comme fondement méthodologique l'approche de «Développement Participatif de l'Innovation» (DPI) à l'œuvre dans le programme PROLINNOVA, lequel se veut «un réseau mondial d'apprentissage pour promouvoir l'innovation locale en agriculture écologique et gestion des ressources naturelles. L'accent est mis sur la reconnaissance du caractère pertinent et dynamique des connaissances indigènes et sur le renforcement des capacités des paysans (...) à s'adapter au changement, à développer leurs propres systèmes et institutions de gestion des ressources appropriés afin d'assurer la sécurité alimentaire, soutenir leurs moyens d'existence et protéger l'environnement.»



(PROLINNOVA, Update Dec. 2009)<sup>3</sup>. Ainsi, l'approche part de l'observation que les villageois sont continuellement à la recherche de solutions créatives et qu'ils font des essais pour prouver l'utilité de ces dernières. PROFEIS vise à créer un environnement favorable à ce processus<sup>4</sup>. Le programme identifie donc des innovations pertinentes et travaille à établir des partenariats multi-acteurs entre les innovateurs/innovatrices, les organisations de développement, le conseil agricole et la recherche agricole. Le programme s'emploie également au renforcement des capacités de ces acteurs. Les innovations sont aussi bien techniques, économiques, qu'organisationnelles. En novembre 2012, un total de 83 innovations paysannes ont été répertoriées au Mali et 17 au Sénégal.

### 2.3. Hypothèse, objectifs et méthodes de cette étude

Dans cette étude, nous faisons l'hypothèse que les connaissances paysannes sont des moteurs négligés de la production scientifique et des processus d'innovation. Plutôt que de les balayer du revers de la main, nous soutenons que les sciences agronomiques gagneraient à se remettre en cause et à passer les connaissances endogènes de leur statut actuel d'accessoires à celui de point de départ pour les activités de recherche.

Dès lors, l'objectif de l'étude a été d'analyser l'intérêt de ces innovations paysannes pour les exploitations agricoles et pour la société au sens large, puis d'examiner leur pouvoir heuristique et les liens que l'on pourrait établir avec la recherche agricole formelle.

L'occasion de l'évaluation des trois opérations et la méthode utilisée pour cette évaluation ont permis d'en faire la première phase de l'étude<sup>5</sup>. En effet, plutôt qu'inspectrice ou contrôle, l'évaluation a permis de croiser des regards externes critiques d'évaluateurs avec ceux internes des acteurs impliqués dans les projets à savoir des paysans et paysannes, des techniciens facilitateurs, les coordonnateurs<sup>6</sup>. Nous avons conduit des interviews (individuels, en petits groupes homogènes puis mixtes), basés sur des guides d'entretiens, avec des paysan(ne)s, des chercheurs, des agents de conseil agricole d'État ou d'ONG, des élus locaux, etc. Des visites de terrain et des discussions sur site sur les innovations ont permis d'en apprécier l'intérêt pour les exploitations et la portée sociale.

Après l'évaluation, les auteurs ont réalisé des visites de terrain et de laboratoires et ont eu des échanges plus approfondis avec des chercheurs, des responsables de laboratoires et des acteurs de la recherche-action paysanne au Burkina-Faso<sup>7</sup>.

## 3. Innovations paysannes et solutions endogènes agricoles

Comme signalé plus haut, une bonne centaine d'innovations ont été recensées et analysées dans le cadre du programme PROFEIS au Mali et au Sénégal et certaines ont été retenues pour faire l'objet d'échanges et de plateformes associant paysans innovateurs, autres paysans intéressés, chercheurs, services de vulgarisation et élus locaux. Les membres des Groupes de

<sup>3</sup> Le programme a été développé depuis 2000 sous la coordination d'ETC EcoCulture, une ONG basée aux Pays-Bas. Il est exécuté par des ONG dans plusieurs pays : Éthiopie, Ouganda, Ghana, Niger, Afrique du Sud, Soudan, Tanzanie, Kenya, Nigéria, Cambodge, Népal, Inde, Bolivie, Équateur et Pérou.

<sup>4</sup> Le PROFEIS est exécuté au Mali par l'ONG ADAF-Galé et au Sénégal par AGRECOL-Afrique.

<sup>5</sup> Deux évaluateurs externes ont été contractés pour cette évaluation : Iris Paulus d'Allemagne et Roch Mongbo du Bénin.

<sup>6</sup> Une telle option de l'approche d'évaluation a permis des échanges décripés et des apprentissages croisés. C'est ce qui explique que le présent article est rédigé par l'un des évaluateurs (Roch Mongbo), le Coordonnateur de Diobass Burkina-Faso (Koura Djibrilou) et la Directrice d'ADAF-Galé (Assétou Kanouté), Coordinatrice de PROFEIS-Mali.

<sup>7</sup> Ces échanges ont pu se réaliser plusieurs mois après l'évaluation, à la faveur de l'appui méthodologique de l'auteur principal à l'Association Diobass pour une adaptation de sa démarche et des tentatives d'une meilleure articulation avec les structures de recherche au Burkina Faso.

Recherche-Actions de Diobass ont quant à eux développé environ 80 innovations en solution à des problèmes vécus et jugés cruciaux (Mongbo, Paulus, 2012a; 2012b et 2012c). Les innovations en question couvrent une large gamme de domaines à savoir, les techniques de semis, la conservation et la gestion de la fertilité des sols, le contrôle du striga et d'autres adventices, la protection des cultures, la gestion post-récolte, la conduite des élevages, l'alimentation et la santé animale. Certaines relèvent des domaines de l'organisation sociale, de la santé humaine, etc. Le tableau 1 présente à titre illustratif et pour certains des domaines sus-cités, quelques innovations identifiées par le PROFEIS Mali.

**Tableau 1.** Innovations paysannes identifiées dans le cadre du PROFEIS Mali.

Innovation	Innovateur	Village	Commune
<b>Techniques de semis</b>			
Techniques de semis de l'arachide dans les raies	Nouhoum Coulibaly	Safolodje-Bougouwèrè	Koro-dougou
Adaptation du semoir	Doulaye Konaté dit Baba	Yarani	Timissa
Modification des trous du disque du semoir	Alou Daou	Nianabougou	Dougou-wolo
Amélioration de la germination de <i>Piliostigma reticulatum</i> (Niama)	Wamia Dembélé	Doumakuy	Timissa
Amélioration du taux de reprise des boutures de pourghère par trempage dans une solution de miel avant implantation	Issa Denon	Dioro	
<b>Conservation et gestion de la fertilité des sols</b>			
Conservation des eaux et de sol par association de raies et des buttes	Issa Tangara	Saye	Sana
Restauration des terres par épandage des blocs de termitières	Moriyé Traoré		
Gestion intégrée de l'espace agricole	Baba Coulibaly	San	San
Régénération des sols dégradés par le ZAÏ	Amagana Djimé	Kiri	Koro
Le sel pour conserver l'humidité dans les poquets de semis	Abdoulaye Bamadio	Yandiaga	Koro
Amélioration de la fertilité des sols par parage rotatif	Dramane Sanogo		
Les buttes organiques	Sadia Djibo		
Mécanisation du micro dose	Pierre Théra	Souara	
Récupération des terres par ensemencement du sésame, fonio, ligneux	Sékou Mallé	N'Golokouna	Niala
<b>Contrôle du striga et d'autres adventices</b>			
Lutte contre le striga par enfouissement du <i>Protopterus (wondo)</i>	Beno Sanogo		
Lutte contre le striga à l'aide de la poudre jaune du fruit du <i>Parkia biglobosa</i> (Néré)	Bakary Dembélé	Sarro	Saloba
Lutte contre le striga à base d'un mélange de poudre de feuilles de baobab et de néré	Bakary Konidjé Tangara	Saye	Sana
Lutte contre le striga par ensemencement du sésame	Tenin Pléa	Diouké	Fakala
Lutte contre les <i>Cyperus</i>	Kassoum Sorokouma	Manè	Timissa
<b>Protection des cultures</b>			
Lutte contre le charbon à base de poudre de graines du <i>Combretum micranthum</i> (Ngolobè)	Binafou Daou		
Lutte contre le charbon à base de poudre de graines de <i>Canavalia sp. ngodjé</i>	Birama Tangara	Saye	Sana

Innovation	Innovateur	Village	Commune
Lutte contre le charbon à base de feuilles de gui de <i>Sclerocarya birrea</i>	Alassane Diallo		
Lutte contre les pucerons des cultures maraîchères à base de combinaison d'extraits aqueux d'une plante locale surnommée le 'Potokolonimbo'	AminataDembélé	Kalla	Digani-dougou
Pour protéger son champ contre les attaques de criquets	Amadou Toloma	Guidiowel	Fakala
Lutte contre les termites en plantation par la fertilisation à base de fientes de volailles	Josué Dembélé	Kérérécoura	Timissa
Lutte contre les insectes de courge	IssaPléa	Dionké Bambara	Fakala
<b>Post-récolte</b>			
Conservation du niébé	Amadou Minta	Guidiowel	Fakala
Conservation de l'oignon	Hama Ouologuem	Kokolo	Soroly
Conservation de céréales par la poudre de feuilles de tamarinier ou par la poudre de <i>Mimosa</i> sp. ( <i>tiléyéléma</i> )	Mamoudou Togo	Téna	Dougou-tènè II
Technique de conservation des céréales	Dramane Diawara	Fanou	Ngassola
Lutte contre la gale à partir du <i>Securidaria longipedunculata</i> ( <i>Dioro</i> )	Bourama Traoré	Sarro	Saloba
Amélioration de la conservation de poisson à base de citron, piment et du sel	Ramata Dramé	Mopti	Mopti
<b>Production animale</b>			
Traitement de la trypanosomiase des animaux avec le caïlcédrot et du sel	Bourama Diallo	KanoualaFoulala	Kéméni
Traitement de la trypanosomiase des animaux à partir du <i>Opilia celtidifolia</i> ( <i>Korognié</i> )	Bourama Traoré	Sarro	Saloba
Traitement de la plaie de l'âne avec la poudre des feuilles de <i>Guiera senegalensis</i>	AssétouSamaké	Kalla	Digani-dougou
Traitement des ungulate des animaux à partir de mélange <i>Physalis ngulate</i> ( <i>Ntuganin ka ngoyo</i> ) et de lalan	Bourama Traoré	Sarro	Saloba
Traitement du tétanos du cheval	Adama Minta	Guidiowel	Fakala
Soigner une plaie persistante chez le cheval et le mal de garrot chez l'âne	Amadou Toloma	Guidiowel	Fakala
Combattre les maladies des bovins à partir de feuilles de caïlcédrot et de graines de l'oseille	SegueiDjiguiba	Wolowolo	Dandoli
Déparasitant interne des animaux à base de potasse	Abdramane Ongoïba	Dounapen	Dioungaly
Élevage des pintadeaux	Bakary Daou	Kanouala	Kéméni
Couveuse en banco	Nouhoum Traoré	Djela	Gouendo
Augmentation du taux d'éclosion des œufs	Yacouba Samouka	Koulebala Dogon	Fakala

Source : Adapté de Mongbo et Paulus, 2012c.

Dans les conditions du Sahel, il est remarquable que ces innovations permettent potentiellement aux exploitations agricoles et aux communautés rurales de réduire leur précarité alimentaire. Les techniques de conservation du sol et de gestion de la fertilité, les techniques de semis et de gestion de l'aridité des sols, le contrôle du striga et des adventices, constituent des solutions à des problèmes récurrents pour ces régions et pour lesquelles les solutions de la recherche agricole, lorsqu'elles existent, doivent encore faire leurs preuves.

Les techniques de gestion du petit élevage (augmentation du taux d'éclosion des œufs, couveuse en banco, déparasitage des bêtes, etc.) constituent des solutions potentielles permettant aux exploitations familiales à faibles ressources, de gérer les périodes de soudure et le moment

de semis. Ces périodes sont souvent marquées par des besoins de liquidité pouvant constituer des goulots d'étranglement, lesquels maintiennent les exploitations dans un cercle vicieux d'endettement et d'insuffisance des emblavures, causes premières d'insécurité alimentaire récurrente et de pauvreté pour les ménages agricoles. Des savoirs endogènes de pareille portée sociale ont été documentés au début des années 1990 au Bénin, sans pourtant prospérer auprès des projets de recherche-développement à l'œuvre à l'époque (Floquet, Mongbo, 1994).

## **4. Innovations paysannes et recherches agricoles formelles**

Parmi les solutions développées par les Groupes de Recherche-Action (GRA) de Diobass au Burkina Faso, deux vont retenir notre attention pour la suite de cet article. Il s'agit du liquide testé efficace contre la maladie de Newcastle (NC) et de la poudre contrôlant le striga. Pour les innovateurs, comme pour d'autres paysans de villages autres que ceux des innovateurs, l'efficacité de la poudre anti-striga ne fait pas de doute et le produit est très demandé d'une année à l'autre. Le liquide testé efficace contre la maladie de Newcastle est même demandé par quelques élevages intensifs qui en font la commande régulièrement auprès du GRA concerné.

Pourtant au premier abord, les logiques opératoires de ces produits ne semblent pas concorder avec les principes d'action que la recherche agricole connaît de ces fléaux.

### **4.1. Innovation contre la maladie de Newcastle et le striga : des solutions défiant la recherche scientifique agricole**

La maladie de NC est connue pour être provoquée par un virus. Pour les chercheurs dès lors, seule la prévention vaccinale est envisagée ici et l'on ne saurait prétendre « guérir » la volaille atteinte de cette maladie avec un liquide quel qu'il soit. De plus, la réglementation en la matière, découlant de cette connaissance scientifique considérée infaillible veut que tout élevage déclaré atteint soit éliminé pour éviter qu'il n'en contamine d'autres. Les tests de ce produit paysan sont donc irréalisables dans les conditions des connaissances scientifiques actuelles et des réglementations qu'elles ont produites. Pour les paysans pourtant, ce produit est un remède qui guérit les volailles atteintes et ils l'appliquent.

Les connaissances actuelles de la biologie du striga conseillent, pour en limiter les dégâts sur les cultures, que l'agriculteur adopte une gestion du semis autour du cycle de germination des graines du striga, soit par un semis précoce ou par un semis tardif de la plante susceptible d'être parasitée. Les premiers tests effectués par les chercheurs sur la poudre se sont fondés sur cette hypothèse et ont conclu à une absence d'effet de contrôle du striga. Et pourtant pour les paysans, le produit est efficace.

## **5. Tournant de la recherche agricole en Afrique**

Au-delà des ajustements méthodologiques, institutionnels et opérationnels habituels, un renouveau des paradigmes qui sous-tendent la recherche et l'innovation en agriculture paraît indispensable. Il est admis que la participation des paysans est un pré-requis de la réussite des processus de développement technologique. Mais les formes et modalités de participation demeurent souvent sous le postulat selon lequel, seules les connaissances conformes aux thèses scientifiques en vigueur sont éligibles. Pourtant, certains des savoirs paysans présentés ici défient la science et, si examinés de près, lui offrent des perspectives nouvelles en même temps que des opportunités d'innovations de grande portée sociale.

Du reste, au cours des dernières décennies, la quête d'une justice sociale a glissé des revendications de redistribution des richesses à celles de la reconnaissance politique et

identitaire. Ainsi, plutôt que de se laisser assimiler par les courants et groupes dominants, les minorités ethniques et les catégories sociales marginales revendiquent leurs droits à l'existence et à la reconnaissance sociale (Frazer, 1999). Les paysans, comme catégories sociales généralement placées au bas de la hiérarchie sociale, sont en quête de reconnaissance et cela, jusqu'au niveau de leurs savoirs et pratiques. Ainsi, leurs revendications actuelles dépassent les opérations cosmétiques de participation. Des auteurs ont signalé que malgré le volume des pratiques et de la littérature sur la participation paysanne à la recherche, les évidences sont rares quant au succès des innovations techniques qui en auraient découlé (Bentley, 1994). Farrington (1997) déplorait l'incapacité de la science à se mettre dans une posture orientée-client vis-à-vis des petits paysans et à leur offrir ce qu'ils attendent d'elle. Les formes les plus 'progressistes' et participatives sont à trouver dans les Fermes Ecoles Paysannes (*Farmer Field School*) dont les résultats en terme de coût-efficacité ont été jugés très satisfaisants, en particulier dans le domaine de la gestion intégrée des ravageurs (Berg, Jiggins, 2007). Il est question à présent, pour ces situations d'éducation, de se départir des certitudes de la science et de partir des solutions paysannes.

Les critiques ont souligné l'incapacité du modèle centralisé des systèmes de recherche agricole à traiter des besoins technologiques complexes des petits paysans (Biggs, Clay, 1981 ; Chambers, Jiggins, 1987a ; 1987b ; Biggs, 1990). Ils déplorent surtout la séparation institutionnelle et relationnelle entre chercheurs et paysans, laquelle serait préjudiciable au processus de recherche-développement dans son ensemble (Biggs, Clay, 1981). De plus, Farrington et Martin (1988) ont très tôt soulevé la question concernant les mécanismes par lesquels des articulations pourraient être établies entre les recherches conduites par les paysans et celles des sciences formelles. Comme le souligne Kloppenburg (1991) :

« Il faut déconstruire la science agricole et cela 'implique la démonstration que... telle qu'elle est actuellement constituée ne peut rendre compte, ni de manière complète, ni d'une façon adéquate, ni même de la meilleure manière possible du secteur de la production agricole. En effet, c'est ... une confiance excessive historique sur cette connaissance partielle et une incapacité à reconnaître à quel point elle est spécifiquement contextuelle, qui ont conduit notre agriculture à ses états actuels (... affublée d'une) rationalité décontextualisée et universelle que la science agronomique a utilisée de manière aussi hégémonique à ce jour. »

Selon Howes (1980) et Bell (1979), on peut distinguer deux évolutions indépendantes l'une de l'autre, dans la façon dont les connaissances endogènes ont été abordées, l'une académique (traitant depuis plus d'un demi-siècle essentiellement de l'ethnoscience et de l'écologie) et l'autre orientée vers le développement depuis les années 1980, notamment à travers les systèmes d'exploitation agricole et le développement participatif (Sillitoe, 1998). Les deux courants de pensées qui ont dominé le monde du développement jusqu'à la fin des années 1980 (la modernisation avec son modèle classique de transfert de technologie d'une part et les courants marxistes de la dépendance d'autre part) ont accordé peu d'attention aux connaissances endogènes. Les thèses néo-populistes et les courants néo-libéraux partisans du « moins d'État » ont prospéré en même temps que les mouvements néo-populistes qui militent pour une participation orientée vers le renforcement du pouvoir des faibles (Biot et al., 1995). Ainsi, la revendication d'une participation paysanne à la recherche s'est trouvée engloutie dans un agenda plus large de renforcement du pouvoir paysan, ce qui a distrait l'attention du projet initial d'amélioration de l'efficacité de la recherche, la participation devenant ainsi plus une norme idéologique que le puissant instrument de politique de recherche agricole qu'elle était sensée être (Hall et al., 2000).

Le problème aujourd'hui est celui de la hiérarchie persistante entre savoirs paysans et savoir scientifique comme source de solutions techniques et sociales à la production agricole et au développement.

Déjà dans les années 1980, les signaux étaient clairs que si la recherche agricole devait apporter quelque contribution à la réduction de la pauvreté, elle devrait opérer dans un cadre

développementiste plutôt que seulement scientifique (Hall et al., 2000 ; Jones et al., 2002). Aujourd'hui, le contexte s'est davantage complexifié, conférant à chaque situation d'innovation agricole, des dimensions multiples telles qu'entre autres :

- Exigence d'un ancrage institutionnel adéquat pour légitimer les questions de recherche et ouvrir des espaces d'appropriation pour les technologies développées afin qu'elles enclenchent des processus conséquents d'innovation.
- Un mouvement paysan désormais présent sur la scène des politiques publiques bien au-delà des seules questions de recherche agricole.
- Des paysans qui revendiquent une reconnaissance sociale et heuristique dans l'exercice de leur métier.
- Le développement de la biotechnologie, du régime de la propriété intellectuelle et l'émergence d'une recherche agricole privée trouvant des opportunités marchandes dans le secteur des produits agricoles et agro-alimentaires.
- Le mouvement mondial en faveur de la survie des petits producteurs ou de l'agriculture familiale comme acteurs clés de la solution des problèmes de nutrition et sécurité alimentaire dans les pays pauvres.
- Les défis environnementaux et des changements climatiques.

Dans des environnements aussi complexes, la science et la recherche formelles ne peuvent prétendre être seules sources des solutions aux problèmes techniques et sociaux du monde agricole et agro-alimentaire. Des coalitions crédibles sont requises entre des sources de savoir respectueuses l'une de l'autre (voir aussi Biggs, Smith, 1998 ; Mauro, Hardison, 2000). Si les innovations et solutions endogènes développées à l'insu des chercheurs en arrivent à contester leurs vérités, elles devraient être prises comme ouvrant de véritables opportunités pour les systèmes formels de recherche et d'innovation. Il faudrait alors que le paradigme structurant passe de l'hégémonie des connaissances scientifiques à celui du crédit '*a priori*' aux connaissances et pratiques endogènes/paysannes.

## Bibliographie

- Bell M., 1979. The exploitation of indigenous knowledge or the indigenous exploitation of knowledge: whose use of what for what? *The IDS Bulletin*, **10**(2), p. 44-50.
- Bentley J.W., 1994. Facts and failures of farmer participatory research. *Agriculture and Human Values*, **11**(2/3), 140-150.
- Berg van den H., Jiggins J., 2007. Investing in Farmers – The Impacts of Farmer Field Schools in Relation to Integrated Pest Management. *World Development*, **35**(4), 663-686.
- Biggs S.D., 1990. A multiple source of innovation model of agricultural research and technology promotion. *World Development*, **18**(11), 1481-1499.
- Biggs S.D., Clay E.J., 1981. Sources of Innovations In Agricultural Technology. *World Development*, **9**(4), 321-336.
- Biggs S.D., Smith G., 1998. Beyond Methodologies: Coalition – Building for Participatory Technology Development. *World Development*, **26**(2), 239-248.
- Biot Y., Blaikie P.M., Jackson C., Palmer-Jones R., 1995. *Rethinking research on land degradation in developing countries*. The World Bank, Washington DC. World Bank Discussion Paper, 289.
- Bittner E., 1983. Technique and the conduct of life. *Social Problems*, **30**(3), 249-261.
- Brokensha D., Warren W.D.M., Werner O. (eds), 1980. *Indigenous Knowledge Systems and Development*. University Press of America, Inc, Lanham, MD, USA.
- Chambers R., 1983. *Rural development: putting the last first*. Longman, London.
- Chambers R., 1994. *Paradigm shifts and the practice of participatory research and development*. Institute of Development Studies, Working Paper 2, Brighton, UK.



- Chambers R., Jiggins J., 1987a. Agricultural Research for resource-poor farmers. Part I: Transfer of Technology and Farming systems research. *Agricultural Administration and Extension*, **27**(1), 35-52.
- Chambers R., Jiggins J., 1987b. Agricultural Research for resource-poor farmers. Part II: A parsimonious paradigm. *Agricultural Administration and Extension*, **27**(2), 109-127.
- Chambers R., Pacey A., Thrupp L.A. (eds.), 1989. *Farmer First: Farmer Innovation and Agricultural Research*. The Bootstrap Press, New York, NY, USA.
- Farrington J., 1997. Farmers' Participation in Agricultural Research and Extension: Lessons from the last decade. *Biotechnology and Development Monitor*, **30**, 12-15.
- Farrington J., Martin A., 1988. *Farmer participatory research: a review of concepts and practices*. Agricultural Administration Unit, Occasional paper 9. Overseas Development Institute, London.
- Floquet A., Mongbo R.L., 1996. Savoirs locaux et approches-système : l'exemple d'innovations endogènes au sud du Bénin. In : Budelman A. (ed.). *Agricultural R&D at the crossroads : Merging systems research and social actor approaches*. Royal Tropical Institute, Amsterdam, The Netherlands.
- Fraser N., 1999. Social justice in the age of identity politics redistribution, recognition, and participation. In: Ray L., Sayer A. (eds). *Culture and Economy after the Cultural Turn*. Sage, Thousand Oaks, CA, USA, p. 25-52.
- Hall A., Clark N., Sulaiman R., Sivamohan M.V.K., Yoganand B., 2000. New agendas for agricultural research in developing countries: policy analysis and institutional implications. *Knowledge, Technology & Policy*, **13**(1), p. 70-91.
- Howes M., 1980. The use of indigenous knowledge in development. In: Brokensha D., Warren D.M., Werner O. (eds). *Indigenous knowledge systems and development*. University Press of America, Lanhan, MD, USA, p. 223-334.
- Jones R., de Freeman H.A, Lo Monaco G., 2002. Improving the access of small farmers in Eastern and Southern Africa to global pigeon pea markets. *Agricultural Research & Extension Network*, **120**. <http://www.odi.org/publications/4277-pigeonpeas-market-access>
- Kloppenborg J., 1991. Social theory and the de/reconstruction of agricultural science: Local knowledge for an alternative agriculture. *Rural Sociology*, **56**(4), 519-548.
- Mauro F., Hardison P.D., 2000. Traditional knowledge of indigenous and local communities: international debate and policy initiatives. *Ecological Applications*, **10**(5), 1263-1269.
- Mongbo R.L., Floquet A., 1994. Systèmes de connaissances agricoles et organisations paysannes au Bénin : Les limites des approches systémiques. In : *Actes du Symposium International sur les Recherche-système en agriculture et développement rural*. Montpellier, France, 21-25 Novembre 1994.
- Mongbo R.L., Paulus I., 2012a. *Rapport d'évaluation du Programme de recherche-action paysanne de la plate-forme Diobass, Burkina Faso*. MISEREOR, Abomey-Calavi et Berlin/Diobass, Burkina Faso.
- Mongbo R.L., Paulus I., 2012b. *Rapport d'évaluation du programme PROFEIS au Sénégal*. MISEREOR, Abomey-Calavi et Berlin/AGRECOL-Afrique, Göttingen, Allemagne.
- Mongbo R.L., Paulus I., 2012c. *Rapport d'évaluation du programme PROFEIS au Mali*. MISEREOR, Abomey-Calavi et Berlin/ADAF/Gallè, Bamako.
- PROLINNOVA, Update Dec 2009. PROLINNOVA – Promotion de l'innovation locale en agriculture écologique et GRN. <http://www.prolinnova.net/content/about-prolinnova>
- Scott J.C., 1998. *Seeing like a state. How certain schemes to improve the human condition have failed*. Yale University Press, New Havea, CT, USA.
- Sillitoe P., 1998. The development of indigenous knowledge: a new applied anthropology. *Current Anthropology*, **39**(2), 223-252.
- Snapp S.S., Blackie M.J., Donovan C., 2003. Realigning research and extension to focus on farmers' constraints and opportunities. *Food Policy*, **28**, 349-363.



## Diversification des cultures en zone cotonnière de l'ouest du Burkina Faso par des associations maïs-légumineuses en situation réelle de production

Coulibaly Kalifa, Diallo Amadou M., Koutou Mahamadou, Sangaré Mamadou, CIRDES, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, Email : kalifacoull@yahoo.fr

### Résumé

La zone cotonnière ouest du Burkina Faso est marquée par une diminution des réserves en terres et de la fertilité des sols, une augmentation de la demande en produits agricoles, une variabilité croissante des conditions climatiques, une pression démographique et une absence de système de garantie des prix et le désengagement de l'État. Pour valoriser les interactions entre les systèmes d'élevage et les systèmes de cultures, une expérimentation sur des innovations techniques à partir d'une combinaison des savoirs scientifiques et locaux, a été menée. La présente communication décrit la démarche d'expérimentation et donne les résultats sur la diversité des pratiques culturales d'association maïs-mucuna et maïs-pois d'Angole ainsi que l'effet de la micro-dose d'engrais sur les performances agronomiques et économiques des cultures associées. L'étude a été menée en 2012 avec 36 paysans dans 2 villages de la commune de Koumbia (Burkina Faso). Les engrais minéraux ont été appliqués sur le maïs associé suivant la dose paysanne et à la volée (150 kg/ha de NPK et 50 kg/ha d'urée) et la micro-dose (75 kg/ha de NPK et 50 kg/ha d'urée). Les résultats montrent que les délais de semis, les densités de cultures et l'arrière effet des précédents culturaux sont des facteurs de variabilité de production des cultures associées. On note aussi que la micro-dose localisée induit une augmentation non significative des rendements en grain de maïs de 4 et 11 % respectivement pour l'association maïs-pois d'Angole et maïs-mucuna, par rapport à une application à la volée. Les performances économiques et les temps de travaux entre la micro-dose et l'apport à la volée ne sont pas différentes de façon significative (au seuil de 5 %). Dans un contexte de rareté de l'espace agricole, les résultats obtenus montrent que les associations céréales/légumineuses permettent une diversification des productions sur une même unité de surface et assurent une sécurité alimentaire et fourragère.

### Crops diversification in the cotton zone of Western Burkina Faso by maize-legume associations in real situation of production

The cotton zone of Western Burkina Faso, is characterized by a reduction of land reserves and soil fertility, increasing demand for agricultural products, increasing climate variability, population pressure and lack of guarantee system prices and the withdrawal of the State. To enhance the interactions between breeding systems and cropping systems, innovations techniques from hybridization of scientific and local knowledge have been tested. This paper describes the approach and gives experimental results on the diversity of cultural practices between the maize-mucuna and the maize-pigeon pea association and the effects of using micro-dose of fertilizer on the agronomic and economic performance of the two type of crop association. The study was conducted in 2012 with 36 farmers in two villages of the municipality of Koumbia (Burkina Faso). Mineral fertilizers were applied on the maize associated according to the conventional requirements (150 kg/ha NPK and 50 kg/ha urea) and micro-dose (75 kg/ha of NPK and 50 kg/ha urea). The results show that the time of planting, crop densities and the residual effects of previous crops are the factors of variation in associating maize-mucuna and maize-pigeon pea. It has been also noted that the micro-dose induces a non-significant increase in grain yield of maize 4 and 11% respectively for the maize-pigeon pea and maize-mucuna, compared to a broadcast application. Economic performance and the work time between micro-dose and broadcast application are not significantly different ( $p < 0.05$ ). In a context of scarcity of agricultural land, the results of this study show that the maize-legume associations allow a diversification of production on the same unit area and ensure food and forage safety.

## 1. Introduction

Dans l'ouest du Burkina Faso, les systèmes de production sont caractérisés par une prédominance des systèmes mixtes agriculture-élevage. Ces systèmes sont confrontés à une variabilité des précipitations et à un environnement économique précaire. La forte croissance démographique et l'augmentation de la densité animale au cours des dernières décennies ont entraîné une pression croissante sur les espaces et les ressources. On assiste à une exploitation continue et minière des parcelles conduisant à une baisse remarquable de la fertilité des terres cultivées (Koulibaly et al., 2010 ; Koulibaly et al., 2012a). La solution à cette dégradation de la fertilité et à la baisse subséquente des rendements agricoles a été dans la plupart des cas l'utilisation quasi exclusive des engrais minéraux importés à des coûts de revient de plus en plus insupportables par les exploitations agricoles. Face à la densité animale élevée par rapport à la capacité de charge des pâturages, les éleveurs préfèrent envoyer tout ou partie de leur troupeau bovin en transhumance presque chaque année pour environ 6 mois vers le sud du pays et/ou dans les pays voisins (Diallo, Vall, 2010).

Pour assurer de façon durable une sécurité alimentaire des populations et une sécurité fourragère du cheptel dans un tel contexte, il convient de promouvoir des systèmes plus productifs, flexibles, basés sur l'intégration des productions végétales et animales au sein des exploitations. C'est dans cette optique que les travaux ont été entrepris depuis 2008 dans la province du Tuy par notre équipe de recherche, pour co-construire avec les paysans, des innovations agropastorales contribuant à l'amélioration de la viabilité et de la durabilité de leurs exploitations (Vall et al., 2012).

L'une des options est l'insertion des légumineuses dans les systèmes de culture de la zone cotonnière à l'ouest du Burkina Faso. Les travaux de Koulibaly et al. (2012b ; 2012c) ont montré que les associations maïs-niébé et maïs-mucuna permettent de produire plus de fourrage et de faire des économies d'espace par rapport aux cultures pures de maïs et de légumineuses. La restitution de ces résultats aux agriculteurs a conduit à la co-construction de nouvelles innovations visant à améliorer la production fourragère à partir des cultures associées et à valoriser les interactions entre les systèmes d'élevage et les systèmes de cultures dans le cadre du « projet intensification agroécologique (iAE) » financé par le CORAF/WECARD. Ces innovations découlent de la combinaison d'options portant sur (1) la production de biomasse en saison des pluies, (2) la valorisation de cette biomasse à travers l'intensification des productions animales, (3) la production de fumure organique et l'optimisation de l'utilisation de la fumure organique, (4) la gestion de la fertilité des sols.

L'objectif du présent papier est de montrer (i) la diversité des pratiques culturales d'association maïs-mucuna et maïs-pois d'Angole et (ii) l'effet de la micro-dose d'engrais localisée sur les performances agronomiques et économiques de ces cultures associées en situation réelle de culture. Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé les données d'une année de campagne issues d'une expérimentation conduite chez et par le paysan (ECPF).

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Zone d'étude

L'étude a été conduite dans les villages de Koumbia et Gombélé Dougou situés dans la province du Tuy à l'Ouest du Burkina Faso (Figure 1). Ces villages relèvent de la commune de Koumbia (12°42'20" N ; 4°24'01" S ; altitude moyenne 290 m) qui est soumise à un climat soudanien avec une pluviométrie située entre 800 et 1 100 mm par an. Gombélé Dougou est à 18 km de Koumbia qui est à 67 km de Bobo-Dioulasso sur la route nationale n° 1. La commune de Koumbia se caractérise par un relief relativement plat, une emprise agricole très élevée

(52 % des terres sont mises en culture), une forte densité animale (22 UBT<sup>1</sup>/km<sup>2</sup>) et une forte pression humaine (38 habitants/km<sup>2</sup>). On note également que 30 % des terres sont occupées par des forêts classées (Diallo, Vall, 2010). Le coton est la principale culture de la zone, il est suivi par le maïs. Les légumineuses occupent une place marginale. L'élevage est l'une des principales activités de la zone et représente, après l'agriculture, la seconde source de revenu pour les paysans.

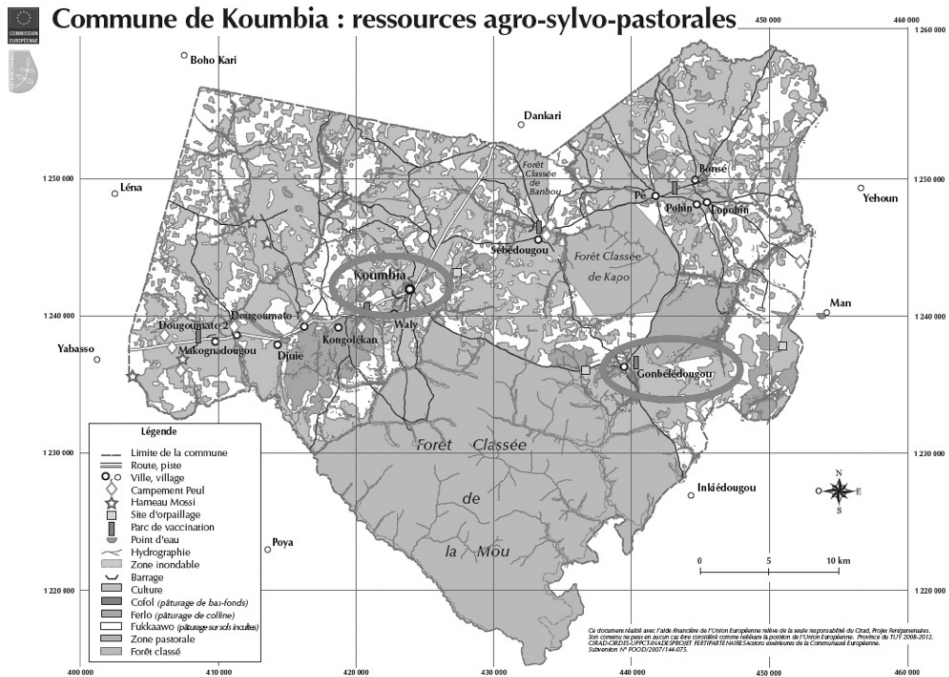


Figure 1. Zone d'étude (Koumbia et Gombélédougou).

## 2.2. Démarche générale de l'expérimentation chez et par les paysans (ECPP)

L'expérimentation chez et par les paysans (ECPP) s'intègre dans une démarche de recherche-action en partenariat (RAP) qui est mobilisée pour des études de co-construction de l'innovation dans d'autres contextes (Chia, 2004 ; Meynard, 2012 ; Reau et al., 2012). Selon Chia (2004), la RAP est née de la rencontre entre une intention de recherche et une volonté de changement exprimée de la part des acteurs de terrain. Cet auteur identifie trois phases dans le déroulement d'une RAP : la phase initiale de mise en route (négociation d'un cadre éthique entre les acteurs), la phase de réalisation et la phase de désengagement ou de renégociation (éventuellement d'une nouvelle RAP). La description des ateliers de conception des systèmes de culture par Reau et al. (2012), indique que l'atelier de conception des systèmes de culture ciblés sur les performances «énergie et gaz à effet de serre» était composé de personnes originaires du développement, de la recherche-développement et de la recherche. Selon Reau et al. (2012), les fonctions essentielles à la réussite de cet atelier étaient représentées par : (1) un animateur : pour organiser le travail et motiver le groupe ; (2) des inventeurs : tous les membres ont joué ce rôle ; certains, plus audacieux, ont joué le rôle de catalyseur, entraînant

<sup>1</sup> Unité de Bovin tropical.

l'ensemble du groupe à oser; (3) des scientifiques : les ingénieurs des instituts techniques et de recherche ont partagé leur connaissance de la thématique avec les autres membres du groupe, permettant ainsi au groupe d'inventorier les solutions techniques; d'autres ont mis à disposition des outils qui ont facilité le travail de conception et d'évaluation; (4) des acteurs ayant des «connaissances localisées», venant du développement, ont été les garants de la cohérence des systèmes de culture innovants. Ils ont été le relais sur le terrain, localement, pour recueillir les informations nécessaires; ils ont veillé à la logique globale des systèmes de culture, à leur adéquation avec le milieu. Ils ont aussi vérifié la cohérence entre les sorties des indicateurs et les références locales.

Notre approche s'est appuyée sur des cadres de concertation villageois (CCV) mis en place lors de nos travaux antérieurs (Vall et al., 2012). Elle s'est déroulée suivant trois phases (Figure 2) : (1) la phase de diagnostic (problématisation des situations), (2) la phase de recherche de solutions (voyage d'étude, sessions de formations, visites commentées) et (3) la phase de l'expérimentation chez et par les paysans qui se divise en trois étapes qui sont l'élaboration de protocoles et de cahiers de charges, l'exécution et l'évaluation de l'expérimentation. Les CCV ont servi de cadre de discussions, d'enrôlement et de mobilisation des paysans.

Au total, 36 producteurs ont été mobilisés dans les 2 villages pour mettre en œuvre les expérimentations en 2012. Le présent papier traite principalement de la 3<sup>e</sup> phase d'expérimentation chez et par les paysans (ECP). Durant les étapes de cette phase, les agriculteurs ont participé activement :

- dans le choix des cultures : un panel de céréales (maïs, sorgho, mil) et légumineuses (niébé, mucuna, pois d'Angole, arachide, dolique) avaient été identifiées. Le choix des agriculteurs a porté sur le maïs parce qu'il est leur principale céréale et sur le mucuna parce qu'il produit beaucoup de fourrage. Le choix du pois d'Angole s'est justifié par le fait que les agriculteurs avaient l'intention de tester une nouvelle culture dans leur zone;
- dans le mode d'insertion des légumineuses : les associations ont été retenues parce que les agriculteurs ont posé le problème de manque d'espace pour consacrer des superficies à la culture pure de légumineuses;
- dans la mise en œuvre des essais : toutes les opérations culturales (du labour jusqu'à la récolte) ont été assurées par les producteurs expérimentateurs;
- dans la collecte des données : les producteurs expérimentateurs avaient des fiches traduites en langue locale pour enregistrer les dates de réalisation des opérations culturales, les temps mis et le nombre de personnes par opération;
- dans la validation des résultats : ces résultats ont été présentés lors d'une assemblée générale du CCV dans un langage simple. La diversité enregistrée dans la mise en œuvre de l'itinéraire technique a été discutée et validée ainsi que les facteurs qui ont influencé les rendements.

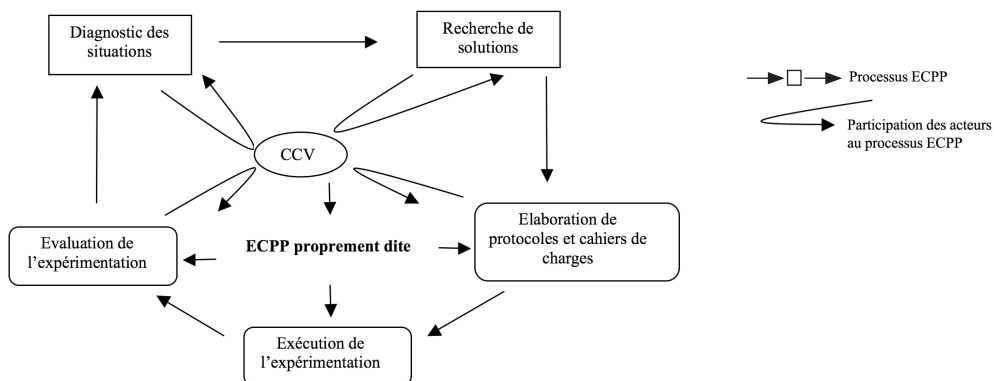


Figure 2. Démarche de l'expérimentation chez et par les paysans (ECP).

### 2.3. Dispositif expérimental : co-construction de l'itinéraire technique

Le dispositif expérimental considère chaque producteur-expérimentateur comme une répétition de l'essai, qui était composé de quatre parcelles contiguës chez chaque producteur sur des superficies de 1 250 m<sup>2</sup> chacune. Les traitements suivants ont été testés chez chaque producteur :

- Traitement 1 : MMdP = maïs-mucuna + NPK (150 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application classique (à la volée/broadcast);
- Traitement 2 : MMmD = maïs-mucuna + NPK (75 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application localisée et en micro-dose (1,2 g + 0,8 g/poquet);
- Traitement 3 : MPAdP = maïs-pois d'Angole + NPK (150 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application classique (à la volée/broadcast);
- Traitement 4 : MPAmD = maïs-pois d'Angole + NPK (75 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application localisée et en micro-dose (1,2 g + 0,8 g/poquet).

L'itinéraire technique co-conçu pour les essais est présenté dans l'encadré 1. L'itinéraire technique du maïs est celui observé utilisé par les agriculteurs dans leur zone. Ils ont jugé bon de le maintenir sans changement. Les discussions ont porté sur les délais d'insertion du mucuna et du pois d'Angole dans le maïs et les modalités d'application de l'engrais. Pour les légumineuses, les agriculteurs ont voulu que le mucuna, qu'ils connaissent en culture pure, soit inséré après l'apport d'urée parce que c'est une culture envahissante qui risque d'étouffer le maïs s'il est inséré très tôt. Pour le pois d'Angole, c'est la recherche qui a milité pour son insertion le même jour que le maïs du fait de sa photopériodicité. Il avait été proposé d'élaguer les plants de pois d'Angole si toutefois, les paysans notaient un envahissement du maïs. Concernant les modalités d'apport d'engrais, c'est la recherche qui a introduit la notion de micro-dose pour répondre à une préoccupation des agriculteurs qui est la cherté des engrais. Les discussions ont permis de réduire la quantité du complexe NPK de moitié comparativement à la pratique des agriculteurs (traitements 1 et 3), pour les traitements 2 et 4 (avec micro-dose) et son apport a été localisé. La pratique actuelle dans la zone d'étude est à l'apport à la volée.

Les semences de *Mucuna deeringiana*, ont été fournies par les producteurs impliqués dans un projet conduit par notre structure de recherche Centre International de Recherche Développement sur l'Élevage en zone Sub-humide (CIRDES). Les semences de maïs (*Zea mays*), variété SR 21, et les semences de pois d'Angole (*Cajanus cajan* L.) ont été fournies par l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) basé au Burkina Faso. Le *Mucuna* est une légumineuse connue par les paysans à travers nos actions antérieures, mais le pois d'Angole est une légumineuse qui est à sa première année d'introduction par notre structure de recherche.

**Encadré 1.** Itinéraire technique co-conçu.

Labourer les parcelles dès les 1<sup>ères</sup> pluies utiles.  
 Semer le maïs aux écartements suivants :  
   – Inter-ligne 80 cm ;  
   – Inter-poquet 40 cm (2 graines par poquet).  
 Semer les légumineuses sur la même ligne que le maïs.  
 Semer le pois d'Angole le même jour que le maïs (après chaque 2 poquets de maïs).  
 Semer le mucuna 40 jours après le maïs (après chaque 2 poquets de maïs).  
 Appliquer l'herbicide total (Round up) sur toutes les parcelles (1 l/ha).  
 Sarcler à la houe manga et désherber manuellement 15 à 20 jours après le semis.  
 Appliquer le complexe NPK 15 jours après semis du maïs et l'urée 35 jours après semis du maïs :  
   – Dose paysanne et épandage à la volée sur les traitements 1 et 3 ;  
   – Micro-dose localisée sur les traitements 2 et 4.  
 Récolter le maïs, le mucuna et le pois d'Angole après les mesures de rendement.  
 Faire des bottes de fourrages avec les tiges de maïs et les fanes de légumineuses.

## 2.4. Collecte de données

Des suivis ont été faits au cours du cycle pour collecter les données et les mesures de rendement ont été effectuées sur des placettes (quatre placettes par parcelle) de 12 m<sup>2</sup> de façon aléatoire.

Les variables agronomiques ont été déterminées par enquête (âge de mise en culture de la parcelle, arrière effet des trois dernières années) et par mesure (rendements). L'arrière effet des trois années antérieures a été obtenu à partir des données sur les précédents culturaux qui ont permis d'estimer grossièrement l'effet précédent lié à la fertilisation minérale avec des engrais complexes selon l'application ou non jusqu'à trois années en arrière. L'effet est dégressif selon les années avec une valeur de 1 en cas d'application l'année précédente, une valeur de 0,66 deux ans auparavant et une valeur de 0,33 trois ans auparavant.

## 2.5. Variables calculées

Les produits bruts par hectare ont été obtenus en affectant une valeur aux produits du maïs (grain et fourrage) et du mucuna et pois d'Angole (fourrage) sur la base des prix moyens du marché local (125 FCFA<sup>2</sup>/kg pour le maïs grain), après enquête auprès des producteurs (50 FCFA/kg pour les fanes de pois d'Angole ou de mucuna et 5 FCFA/kg pour les pailles de maïs).

Les charges brutes par hectare ont été obtenues en sommant les charges élémentaires d'intrants (semences, herbicides) et de travail. Le tarif généralement pratiqué dans la zone d'étude pour le temps de travail a été utilisé (soit 750 FCFA pour 1 HJ).

La marge brute par hectare représente la valeur de la production par hectare diminuée des charges brutes et la marge brute par journée de travail est le rapport de la marge brute par hectare et le nombre de jours de travail (Ouédraogo, 2004).

Nous avons considéré qu'une journée de travail correspondait à 6 heures de travail au regard des pratiques dans la zone. Le temps de travail (J/ha) par opération est obtenu en faisant le calcul suivant : (temps passé en minutes \* nombre de personnes \* 10 000/superficie de la parcelle)/360. Le temps total est obtenu en sommant les temps de travail de toutes les opérations.

## 2.6. Analyse statistique des données

Une analyse en composantes principales (ACP) a d'abord été effectuée sur l'ensemble des données des traitements maïs-mucuna + NPK (75 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application en micro-dose (MMmD) et maïs-pois d'Angole + NPK (75 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application en micro-dose (MPAmD) (Sanogo et al., 2010). Une classification ascendante hiérarchique (CAH) qui a ensuite été réalisée à partir du tableau des coordonnées des observations sur les axes factoriels obtenus de l'ACP, a permis de déterminer des sous-populations (Morou, Rippstein, 2004). Une analyse factorielle discriminante (AFD) utilisée sur l'ensemble des variables, a permis de valider les sous-populations retenues (Kiendrébéogo et al., 2008). Les analyses de variance (ANOVA) ont permis de comparer les sous-populations identifiées à partir de la CAH ainsi que les traitements.

Pour les ACP, les variables économiques ont été considérées comme des variables supplémentaires. Les variables liées à l'âge de mise en culture de la parcelle, au précédent cultural, aux itinéraires techniques et aux rendements ont été retenues comme des variables actives. Pour les ANOVA, le test de Newman et Keuls a permis de comparer les moyennes au seuil de 5 %. Le logiciel XLSTAT 2012, a été utilisé.

<sup>2</sup> Franc de la Communauté Financière Africaine.

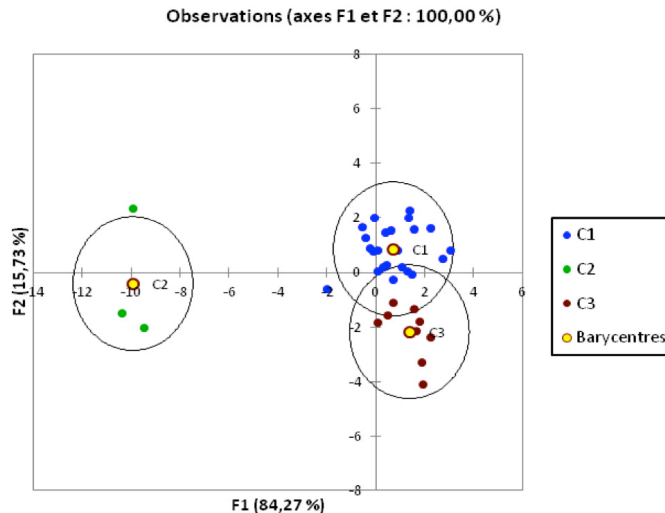


### 3. Résultats

#### 3.1. Diversité des pratiques de production des associations maïs-mucuna

Les résultats de l'ACP montrent que le rendement en grain du maïs est positivement corrélé au précédent cultural et à la densité de peuplement de maïs, mais est négativement corrélé à la date de semis (Tableau 1). Le rendement en tige du maïs est positivement corrélé à la densité de peuplement de maïs. On note également que le rendement fane du mucuna est corrélé positivement à la densité du mucuna.

La classification ascendante hiérarchique (CAH) a permis de regrouper les producteurs en 3 classes homogènes (C1, C2 et C3) suivant leurs pratiques culturales. L'analyse factorielle discriminante (AFD) a confirmé à 100% les classes constituées (Figure 3). Les données du tableau 2 montrent que la classe C1 (24 producteurs) est caractérisée par des parcelles dont l'âge de mise en culture est la plus faible (10 ans) et sur lesquelles les semis du maïs ont été réalisés le plus tardivement par rapport aux autres classes. La classe C2 (3 producteurs) se distingue par des parcelles dont l'âge de mise en culture est le plus élevé, un apport précoce d'urée, un sarclage tardif, une densité de maïs faible et une insertion précoce du mucuna (15 jours après le maïs contre 40 jours recommandés par l'itinéraire technique). Les individus de la classe C3 (9 producteurs) ont réalisé des semis les plus précoces sur des parcelles ayant un effet précédent cultural élevé. Ils ont observé une densité de peuplement de maïs plus élevée que celles des autres classes. On note que la classe C3 a obtenu les meilleurs rendements en maïs, aussi bien en grains qu'en tiges. On enregistre un produit brut, une marge brute et une marge brute par journée de travail significativement plus élevés (au seuil de 5%) pour la classe C3. La charge brute est statistiquement similaire (au seuil de 5%) pour les 3 classes.



**Figure 3.** Projection des sous-populations C1 (n = 24), C2 (n = 3) et C3 (n = 9) dans le plan formé par les axes de l'analyse factorielle discriminante (AFD) pour l'association maïs-mucuna.

#### 3.2. Effet de la micro-dose sur les performances agronomiques et économiques des cultures associées maïs-mucuna

Pour la classe C3 (9 producteurs) qui a obtenu les meilleures performances agronomiques et économiques pour le traitement avec micro-dose d'engrais, les résultats obtenus sur les temps de travaux montrent qu'il n'y a pas de différence significative (au seuil de 5%) entre



**Tableau 1.** Matrice de corrélation (issue de l'analyse en composantes principales) entre les conditions de productions, les caractéristiques des exploitations, les itinéraires techniques et les rendements des cultures associées maïs-mucuna.

Variables	Âge champ	Âge arrière effet	Écart 1 <sup>er</sup> semis	Sem M- NPK	Sem M- Urée	Sem- Sarc	Sem M- Muc	Densité M	Densité Muc	Tps travail	Rdt Maïs grain	Rdt Maïs tige	Rdt Muc fane	MB/ JT	Rdt tige + fane	CB	PB	MB
Âge champ (an)	1																	
Arrière effet 3 ans	0,106	1																
Écart 1 <sup>er</sup> semis	-0,285	-0,417	1															
Sem M-NPK	0,078	0,171	-0,081	1														
Sem M-Urée	-0,366	-0,153	0,269	0,002	1													
Sem-Sarc	-0,101	-0,188	0,147	-0,271	-0,022	1												
Sem M-Muc	-0,066	0,329	-0,263	0,297	0,159	-0,447	1											
Densité M	0,072	0,157	0,076	-0,031	-0,074	-0,005	0,156	1										
Densité Muc	0,036	-0,029	-0,048	-0,167	0,180	0,034	-0,011	-0,072	1									
Tps travail	-0,313	0,099	0,026	-0,046	0,008	0,082	-0,116	0,271	-0,091	1								
Rdt Maïs grain	0,061	0,434	-0,455	0,054	-0,244	0,164	0,237	0,390	-0,001	0,316	1							
Rdt Maïs tige	0,210	0,313	-0,251	-0,070	-0,162	-0,037	0,084	0,592	0,200	0,332	0,608	1						
Rdt Muc fane	-0,014	-0,087	-0,152	-0,198	0,230	0,217	-0,195	0,077	0,765	-0,033	0,048	0,216	1					
MB/JT	0,333	0,367	-0,290	0,069	-0,239	0,154	0,143	0,437	-0,078	-0,261	0,654	0,478	-0,035	1				
Rdt tige + fane	0,199	0,286	-0,263	-0,097	-0,120	-0,002	0,051	0,578	0,307	0,313	0,588	0,989	0,359	0,452	1			
CB	-0,353	0,157	-0,158	-0,108	-0,050	0,031	0,071	0,249	0,054	0,848	0,455	0,380	0,111	-0,200	0,381	1		
PB	0,066	0,429	-0,461	0,039	-0,230	0,170	0,223	0,405	0,049	0,317	0,998	0,639	0,110	0,651	0,628	0,463	1	
MB	0,253	0,404	-0,440	0,099	-0,235	0,176	0,215	0,331	0,028	-0,072	0,895	0,528	0,068	0,836	0,515	0,016	0,894	1

Légende : Écart 1<sup>er</sup> semis = nombre de jours entre la date du premier semis du maïs (21 juin) et les autres dates de semis (jours) ; Sem M-Muc = nombre de jours entre le semis du maïs et celui du mucuna ; Sem M-NPK = nombre de jours entre le semis du maïs et l'apport de NPK ; Sem M-Urée = nombre de jours entre le semis du maïs et l'apport d'urée ; Sem-Sarc = nombre de jours entre le semis et le sarclage ; Tps = temps (j/ha) ; Rdt = rendement (kg/ha) ; MB/JT = marge brute par journée de travail (FCFA/J) PB = produit brut (FCFA/ha) ; CB = charge brute (FCFA/ha) ; MB = marge brute (FCFA/ha).

\*Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha = 0,05$ .

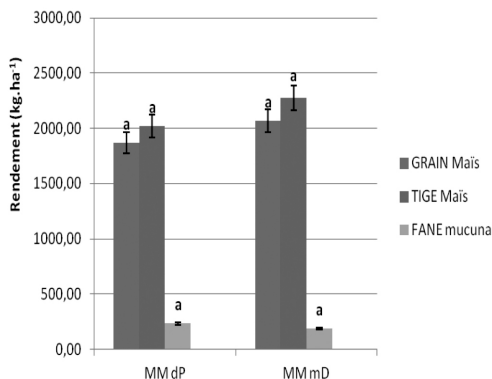
le traitement 1 (MMdP) ( $58,92 \pm 11,15$  J/ha) et le traitement 2 (MMmD) ( $63,38 \pm 13,19$  J/ha) bien qu'on note une tendance à la hausse avec le traitement 2 (MMmD).

Les résultats sur les rendements du maïs et du mucuna montrent que la différence n'est pas significative au seuil de 5 % entre les traitements 1 et 2 (Figure 4). Toutefois, on observe une tendance à l'augmentation des rendements du maïs sur le traitement 2 par rapport au traitement 1. Les densités de maïs enregistrées sont de 37 562 et 38 704 pieds/ha respectivement pour les traitements 1 et 2. Ces densités sont inférieures à celle recommandée par l'itinéraire technique co-défini qui était de 62 500 pieds/ha.

**Tableau 2.** Classification des producteurs suivant l'âge de mise en culture de la parcelle, l'arrière effet des précédents culturaux et la diversité des itinéraires techniques pour l'association maïs-mucuna.

Classes	C1 (n = 24)	C2 (n = 3)	C3 (n = 9)	F	Pr > F	Significatif
Âge champ (an)	10a $\pm$ 1	19b $\pm$ 2	14ab $\pm$ 2	3,870	0,031	Oui
Arrière effet 3 ans	0,87a $\pm$ 0,14	0,33a $\pm$ 0,33	1,58b $\pm$ 0,21	5,432	0,009	Oui
Écart 1 <sup>er</sup> semis	23b $\pm$ 1	19ab $\pm$ 2	15a $\pm$ 2	6,630	0,004	Oui
Sem M-NPK	18a $\pm$ 1	15a $\pm$ 1	18a $\pm$ 1	0,968	0,390	Non
Sem M-Urée	46b $\pm$ 2	31a $\pm$ 8	42b $\pm$ 2	5,318	0,010	Oui
Sem-Sarc	30a $\pm$ 2	41a $\pm$ 4	32a $\pm$ 4	1,720	0,195	Non
Sem M-Muc	43b $\pm$ 2	15a $\pm$ 8	47b $\pm$ 2	20,436	<0,0001	Oui
Densité M	32 326a $\pm$ 1 269	25 370a $\pm$ 6 006	38 704b $\pm$ 2 233	5,345	0,010	Oui
Densité Muc	8 565a $\pm$ 1 276	8 704a $\pm$ 2 976	9 321a $\pm$ 1 647	0,054	0,948	Non
Tps travail	68,73a $\pm$ 6,59	30,96a $\pm$ 6,29	63,38a $\pm$ 13,19	1,712	0,196	Non
Rdt Maïs grain	1 078,36a $\pm$ 99,30	958,91a $\pm$ 519,54	2 069,78b $\pm$ 276,09	9,007	0,001	Oui
Rdt Maïs tige	1 487,25a $\pm$ 99,07	1 432,17a $\pm$ 604,40	2 275,54b $\pm$ 235,49	6,070	0,006	Oui
Rdt Muc fane	147,71a $\pm$ 20,08	161,99a $\pm$ 106,88	187,04a $\pm$ 36,78	0,431	0,653	Non
MB/JT	282a $\pm$ 187	1 147ab $\pm$ 1 515	2 764b $\pm$ 477	13,473	<0,0001	Oui
Rdt tige + fane	1 634,96a $\pm$ 103,76	1 594,16a $\pm$ 623,10	2 462,58b $\pm$ 247,40	6,089	0,006	Oui
CB	136 645a $\pm$ 8 186	81 136a $\pm$ 17 354	136 895a $\pm$ 15 463	2,502	0,097	Non
PB	149 617a $\pm$ 12 227	135 124a $\pm$ 67 529	279 452b $\pm$ 35 895	9,541	0,001	Oui
MB	12 972a $\pm$ 11 985	53 988ab $\pm$ 51 039	142 557b $\pm$ 25 386	12,843	<0,0001	Oui

Légende : voir tableau 1.



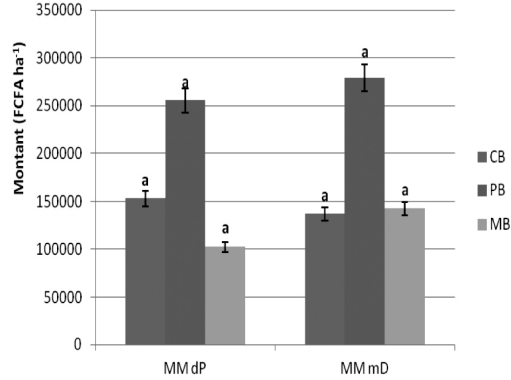
**Figure 4.** Effet de la micro-dose sur les rendements des cultures associées maïs-mucuna pour la classe 3.

MMdP (traitement 1) = maïs-mucuna + NPK (150 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application classique (à la volée/broadcast); MMmD (traitement 2) = maïs-mucuna + NPK (75 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application en micro-dose (1,2 g + 0,8 g par poquet).

On note que la charge brute a tendance à baisser sur le traitement 2 par rapport au traitement 1 bien qu'il n'y ait pas de différence significative au seuil de 5 % (Figure 5). La différence observée entre les produits bruts et les marges brutes des 2 traitements n'est pas

significative au seuil de 5 %. Il en est de même pour la marge brute par journée de travail qui est de  $2\,290 \pm 901$  et  $2\,764 \pm 477$  FCFA/J respectivement pour les traitements 1 et 2.

Pour la classe C1, les résultats montrent qu'il y a une différence significative au seuil de 5 % entre les 2 traitements pour la marge brute par journée de travail, la charge brute et la marge brute (Tableau 3). Pour les autres variables, il n'y a pas de différence significative entre les traitements 2 et 1.



**Figure 5.** Effet de la micro-dose sur les performances économiques des cultures associées maïs-mucuna pour la classe 3.  
MMdP (traitement 1) = maïs-mucuna + NPK (150 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application classique (à la volée/broadcast); MMmD (traitement 2) = maïs-mucuna + NPK (75 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application en micro-dose (1,2 g + 0,8 g par poquet); PB = produit brut (FCFA/ha); CB = charge brute(FCFA/ha); MB = marge brute (FCFA/ha).

**Tableau 3.** Effet de la micro-dose sur les performances agronomiques et économiques des cultures associées maïs-mucuna pour les classes C1 et C2.

Classe C1 (n = 24)					
Variables	Traitement 1 (MM dP)	Traitement 2 (MM mD)	F	Pr > F	Significatif
Densité Maïs	30 498a ± 1 331	32 326a ± 1 269	0,989	0,325	Non
Densité Mucuna	9 155a ± 995	8 565a ± 1 276	0,133	0,717	Non
Tps travail	68,37a ± 7,83	68,73a ± 6,59	0,001	0,972	Non
Rdt Maïs grain	970,88a ± 109,91	1 078,36a ± 99,30	0,526	0,472	Non
Rdt Maïs tige	1 267,80a ± 90,11	1 487,25a ± 99,07	2,685	0,108	Non
Rdt Muc fane	171,78a ± 22,67	147,71a ± 20,08	0,632	0,431	Non
MB/JT	-402a ± 209,16	282b ± 187	5,950	0,019	Oui
Rdt tige + fane	1 439,57a ± 85,34	1 634,96a ± 103,76	2,115	0,153	Non
CB	163 152a ± 10 086	136 645b ± 8 186	4,164	0,047	Oui
PB	136 288a ± 13 881	149 617a ± 12 227	0,519	0,475	Non
MB	-26 864a ± 13 920	12 972b ± 11 985	4,703	0,035	Oui
Classe C2 (n = 3)					
Densité Maïs	28 796a ± 245	25 370a ± 6 006	0,325	0,599	Non
Densité Mucuna	6 944a ± 1 850	8 704a ± 2 976	0,252	0,642	Non
Tps travail	29,00a ± 7,41	30,96a ± 6,29	0,040	0,850	Non
Rdt Maïs grain	960,67a ± 132,88	958,91a ± 519,54	0,000	0,998	Non
Rdt Maïs tige	1 484,42a ± 251,27	1 432,17a ± 604,40	0,006	0,940	Non
Rdt Muc fane	102,05a ± 23,74	161,99a ± 106,88	0,300	0,613	Non
MB/JT	1 511a ± 1 054	1 147a ± 1 515	0,039	0,853	Non
Rdt tige + fane	1 586,47a ± 254,64	1 594,16a ± 623,10	0,000	0,991	Non
CB	101 838a ± 20 013	81 136a ± 17 354	0,611	0,478	Non
PB	132 609a ± 16 968	135 124a ± 67 529	0,001	0,973	Non
MB	30 771a ± 14 499	53 988a ± 51 039	0,191	0,684	Non

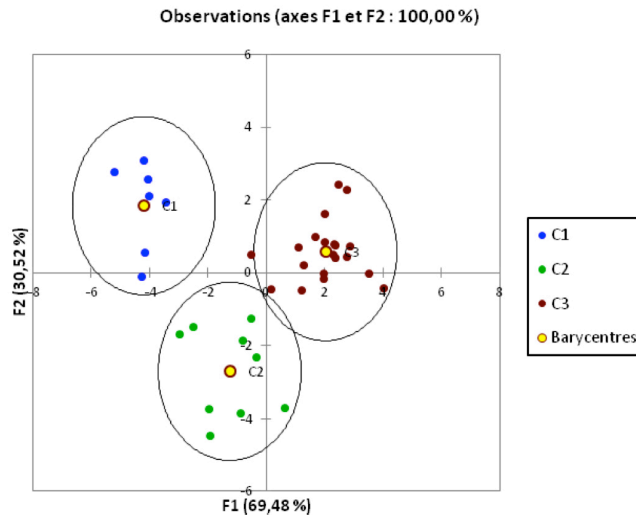
Légende : MMdP (traitement 1) = maïs-mucuna + NPK (150 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application classique (à la volée/broadcast); MMmD (traitement 2) = maïs-mucuna + NPK (75 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application en micro-dose (1,2 g + 0,8 g par poquet), Densité (pieds/ha); Tps = temps (j/ha); Rdt = rendement (kg/ha); MB/JT = marge brute par journée de travail (FCFA/J) PB = produit brut (FCFA/ha); CB = charge brute (FCFA/ha); MB = marge brute (FCFA/ha).

Pour la classe C2, les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative au seuil de 5 % entre les 2 traitements aussi bien pour les paramètres agronomiques qu'économiques (Tableau 3).

### 3.3. Diversité des pratiques de production des associations maïs-pois d'Angole

Le tableau 4 montre que les rendements (grain et tige) du maïs sont positivement corrélés à sa densité de peuplement. Le rendement en grain de maïs est négativement corrélé à la date de semis. On note également que le rendement fane du pois d'Angole est corrélé positivement à sa densité.

La classification ascendante hiérarchique (CAH) a permis de regrouper les producteurs en 3 classes homogènes (C1, C2 et C3) suivant leurs pratiques culturales. L'analyse factorielle discriminante (AFD) a confirmé à 100 % les classes constituées (Figure 6). Le tableau 5 montre que la classe C1 (7 producteurs) est caractérisée par des parcelles dont l'âge de mise en culture est la plus faible et sur lesquelles les semis du maïs ont été réalisés les plus tardivement. Les producteurs de cette classe C1 ont enregistré le travail le plus élevé ainsi que la charge brute. La classe C2 (9 producteurs) se distingue par des densités de maïs et de pois d'Angole les plus faibles, un rendement en tige de maïs faible. Chez les expérimentateurs de la classe C3 (20 producteurs) on observe les densités de peuplement de maïs et de pois d'Angole les plus élevées. On note que la classe C3 a obtenu les meilleurs rendements en tiges de maïs et en fanes de pois d'Angole par rapport aux classes C1 et C2. La différence entre les rendements en grain de maïs n'est pas significative (au seuil de 5 %) entre les 3 classes. On enregistre un produit brut, une marge brute et une marge brute par journée de travail significativement plus élevés (au seuil de 5 %) pour la classe C3 comparée aux classes C1 et C2.



**Figure 6.** Projection des sous-populations C1 (n = 7), C2 (n = 9) et C3 (n = 20) dans le plan formé par les axes de l'analyse factorielle discriminante (AFD) pour l'association maïs-pois d'Angole.

**Tableau 4.** Matrice de corrélation (issue de l'analyse en composantes principales) entre les conditions de productions, les caractéristiques des exploitations, les itinéraires techniques et les rendements des cultures associées maïs-pois d'Angole.

Variables	Âge champ	Écart 1 <sup>er</sup>	Arrière effet	Sem M- NPK	Sem M- Urée	Sem- Sarc	Sem M-PA	Densité M	Densité PA	Tps travail	Rdt Maïs grain	Rdt Maïs tige	Rdt PA fane	MB/ JT	Rdt tige+ fane	CB	PB	MB
Âge champ (an)	1																	
Arrière effet 3 ans	0,050	1																
Ecart 1 <sup>er</sup> semis	-0,270	-0,385	1															
Sem M-NPK	0,067	0,232	-0,085	1														
Sem M-Urée	-0,371	-0,139	0,274	0,004	1													
Sem-Sarc	-0,079	-0,209	0,145	-0,288	-0,022	1												
Sem M-PA	0,119	-0,091	-0,027	0,123	-0,073	0,022	1											
Densité M	-0,019	0,216	-0,004	0,142	0,152	0,073	0,052	1										
Densité PA	0,072	0,112	0,114	-0,147	0,012	0,033	-0,204	0,624	1									
Tps travail	-0,227	0,022	0,071	0,001	-0,001	0,159	0,180	0,292	-0,016	1								
Rdt Maïs grain	-0,050	0,304	-0,357	-0,039	-0,036	0,162	0,183	0,401	0,135	0,315	1							
Rdt Maïs tige	0,074	0,290	-0,124	-0,053	-0,081	-0,042	0,144	0,565	0,411	0,381	0,588	1						
Rdt PA fane	0,070	0,211	0,000	-0,144	-0,007	-0,226	-0,219	0,362	0,583	-0,028	0,110	0,324	1					
MB/JT	0,155	0,291	-0,263	-0,113	0,025	-0,056	-0,041	0,389	0,416	-0,327	0,516	0,357	0,426	1				
Rdt tige + fane	0,089	0,305	-0,072	-0,124	-0,052	-0,171	-0,058	0,563	0,616	0,204	0,414	0,792	0,834	0,483	1			
CB	-0,282	0,011	-0,068	-0,009	-0,123	0,110	0,173	0,270	-0,013	0,863	0,497	0,404	0,007	-0,261	0,240	1		
PB	-0,010	0,342	-0,320	-0,091	-0,036	0,071	0,089	0,495	0,330	0,281	0,937	0,655	0,449	0,609	0,672	0,457	1	
MB	0,136	0,378	-0,324	-0,097	0,023	0,022	0,009	0,416	0,378	-0,136	0,793	0,525	0,501	0,821	0,630	-0,009	0,885	1

Légende : Écart 1<sup>er</sup> semis = nombre de jours entre la date du premier semis du maïs (21 juin) et les autres dates de semis (jours) ; Sem M-PA = nombre de jours entre le semis du maïs et celui du pois d'Angole ; Sem M-NPK = nombre de jours entre le semis du maïs et l'apport de NPK ; Sem M-Urée = nombre de jours entre le semis du maïs et l'apport d'urée ; Sem-Sarc = nombre de jours entre le semis et le sarclage ; Tps = temps (j/ha) ; Rdt = rendement (kg/ha) ; MB/JT = marge brute par journée de travail (FCFA/J) ; PB = produit brut (FCFA/ha) ; CB = charge brute (FCFA/ha) ; MB = marge brute (FCFA/ha).

\*Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha = 0,05$ .

**Tableau 5.** Classification des producteurs suivant l'âge de mise en culture de la parcelle, l'arrière effet des précédents culturaux et la diversité des itinéraires techniques pour l'association maïs-pois d'Angole.

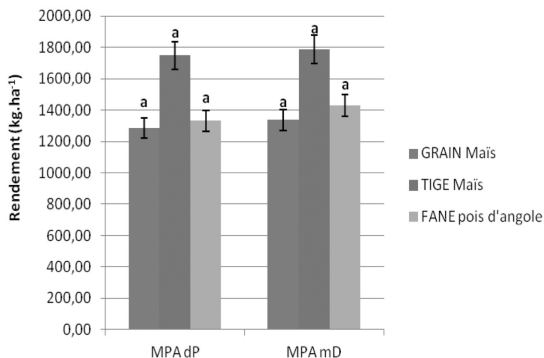
Classe	C1 (n = 7)	C2 (n = 9)	C3 (n = 20)	F	Pr > F	Significatif
Âge champ (an)	6a ± 2	14b ± 2	13b ± 1	4,046	0,027	Oui
Arrière effet 3 ans	0,62a ± 0,18	0,92a ± 0,28	1,16a ± 0,17	1,468	0,245	Non
Écart 1 <sup>er</sup> semis	28b ± 1	19a ± 3	20a ± 1	5,905	0,006	Oui
Sem M-NPK	18a ± 1	20a ± 2	17a ± 1	2,430	0,104	Non
Sem M-Urée	49a ± 4	38a ± 4	44a ± 1	2,855	0,072	Non
Sem-Sarc	39a ± 3	30a ± 3	29a ± 2	2,972	0,065	Non
Sem M-PA	7a ± 5	2a ± 1	1a ± 1	2,384	0,108	Non
Densité M	34 206b ± 2 035	27 338a ± 2 119	36 264b ± 1 018	9,211	0,001	Oui
Densité PA	12 857ab ± 2 501	10 394a ± 1 555	19 042b ± 1 747	5,512	0,009	Oui
Tps travail	97,92b ± 17,53	45,77a ± 4,38	54,71a ± 6,34	6,927	0,003	Oui
Rdt Maïs grain	1 256,48a ± 320,22	842,40a ± 119,12	1 337,82a ± 145,10	1,923	0,162	Non
Rdt Maïs tige	1 516,32ab ± 161,75	1 129,05a ± 123,51	1 787,77b ± 132,36	5,066	0,012	Oui
Rdt PA fane	572,97a ± 110,79	677,50a ± 114,99	1 429,25b ± 135,93	11,071	0,000	Oui
Rdt tige + fane	2 089,29a ± 210,46	1 806,56a ± 199,39	3 217,03b ± 193,97	13,042	< 0,0001	Oui
MB/JT	-68a ± 361	115a ± 332	2 136b ± 438	6,892	0,003	Oui
CB	190 926b ± 24 019	137 110a ± 5 165	157 410ab ± 8 434	3,567	0,040	Oui
PB	193 290ab ± 38 883	144 821a ± 15 204	248 598b ± 19 805	5,029	0,012	Oui
MB	2 363a ± 28 979	7 711a ± 15 109	91 188b ± 17 723	6,325	0,005	Oui

Légende : voir tableau 4.

### 3.4. Effet de la micro-dose sur les performances agronomiques et économiques des cultures associées maïs-pois d'Angole

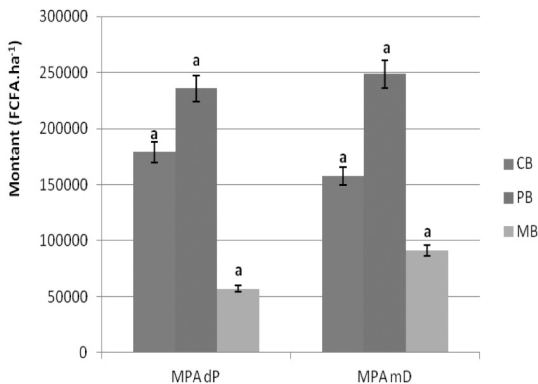
Pour la classe C3 (20 producteurs) qui a obtenu les meilleures performances agronomiques et économiques pour le traitement avec micro-dose d'engrais, nos résultats montrent que la différence obtenue entre les temps de travaux des traitements 3 (MPAdP) ( $52,30 \pm 6,13$  J/ha) et 4 (MPAmD) ( $54,71 \pm 6,34$  J/ha) n'est pas significative (au seuil de 5%).

Les résultats sur les rendements du maïs et du pois d'Angole montrent que la différence n'est pas significative au seuil de 5% entre les traitements 3 et 4 (Figure 7). Toutefois, on observe une tendance à l'augmentation des rendements sur le traitement 4 par rapport au traitement 3. Les densités de maïs enregistrées sont de 35 125 et 36 264 pieds/ha respectivement pour les traitements 3 et 4. Ces densités sont également inférieures à celles recommandées par l'itinéraire technique co-défini qui était de 62 500 pieds ha<sup>-1</sup>.



**Figure 7.** Effet de la micro-dose sur les rendements des cultures associées maïs-pois d'Angole pour la classe 3.  
MPAdP (traitement 3) = maïs-pois d'Angole + NPK (150 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application classique (à la volée/broadcast); MPAmD (traitement 4) = maïs-pois d'Angole + NPK (75 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application en micro-dose (1,2 g + 0,8 g par poquet).

L'analyse des données économiques montre que les différences observées entre la charge brute, le produit brut et la marge brute des 2 traitements ne sont pas significatives au seuil de 5 % (Figure 8). Toutefois, on note qu'excepté la charge brute, les autres variables économiques ont tendance à augmenter sur le traitement 4 par rapport au traitement 3. Il en est de même pour la marge brute par journée de travail qui est de  $1545 \pm 635$  et  $2136 \pm 438$  FCFA/J respectivement pour 3 et 4.



**Figure 8.** Effet de la micro-dose sur les performances économiques des cultures associées maïs-pois d'Angole pour la classe 3. MPA dP (traitement 3) = maïs-pois d'Angole + NPK (150 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application classique (à la volée/broadcast); MPA mD (traitement 4) = maïs-pois d'Angole + NPK (75 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application en micro-dose (1,2 g + 0,8 g par poquet); PB = produit brut (FCFA/ha); CB = charge brute (FCFA/ha); MB = marge brute (FCFA/ha).

Pour la classe C1, les résultats montrent qu'il n'y a pas de différence significative au seuil de 5 % entre les 2 traitements (Tableau 6). Toutefois, le traitement 4 a tendance à être plus performant que le traitement 3 qui est la pratique paysanne.

Pour la classe C2, les résultats montrent également qu'il n'y a pas de différence significative au seuil de 5 % entre les 2 traitements pour toutes les variables (Tableau 6), excepté la charge brute qui est significativement plus élevée pour le traitement 3 ( $159\,067^a \pm 5\,615$  FCFA/ha) comparativement au traitement 4 ( $137\,110^b \pm 5\,165$  FCFA/ha).

## 4. Discussion

Nos travaux antérieurs ont montré que les cultures associées maïs-légumineuses permettraient de produire plus de biomasse par rapport aux cultures pures (Coulilaly et al., 2012c; 2012d). C'est sur la base de ces travaux que les acteurs de terrain et les chercheurs, lors de la co-construction des protocoles et de l'itinéraire technique (ITC), ont retenu de poursuivre les investigations sur ces cultures associées en intégrant le volet fertilisation chimique. Les objectifs auxquels devraient répondre ces protocoles et ITC étaient la production de biomasse en quantité et en qualité et la réduction des charges liées à l'achat des engrais minéraux dont le coût d'achat est de plus en plus élevé pour les agriculteurs. C'est dans ce sens que la quantité du complexe NPK a été réduite de moitié par rapport à la dose recommandée et son apport a été localisé comparativement à l'apport à la volée qui est la pratique actuelle dans la zone d'étude.

L'analyse des résultats sur la diversité des pratiques de production des associations maïs-mucuna et maïs-pois d'Angole montre que les meilleures performances agronomiques et économiques sont obtenues par les producteurs ayant effectué des semis précoces et observé également des densités de peuplement les plus importantes. On pourrait dire que les écarts de semis et les densités de cultures sont les facteurs de variabilité de production des cultures associées (Guibert et al., 2002; Coulilaly et al., 2012c; Kiba, 2012). On note également que l'arrière effet des apports d'engrais sur les précédents culturaux des 3 dernières années influence les rendements. Cela montre que l'ordre de rotation (coton-maïs) observé par les agriculteurs en zone cotonnière, vise à permettre aux cultures de bénéficier des arrières effets des fertilisants chimiques (Gomgnimbou et al., 2010).



**Tableau 6.** Effet de la micro-dose sur les performances agronomiques et économiques des cultures associées maïs-pois d'Angole pour les classes C1 et C2.

Variables	Classe C1 (n = 7)		F	Pr > F	Significatif
	Traitement 3 (MPA dP)	Traitement 4 (MPA mD)			
Densité M	31 429a ± 2 577	34 206a ± 2 035	0,716	0,414	Non
Densité PA	10 357a ± 1 448	12 857a ± 2 501	0,748	0,404	Non
Tps travail	103,95a ± 23,72	97,92a ± 17,53	0,042	0,841	Non
Rdt Maïs grain	1 096,27a ± 346,27	1 256,48a ± 320,22	0,115	0,740	Non
Rdt Maïs tige	1 465,07a ± 307,59	1 516,32a ± 161,75	0,022	0,885	Non
Rdt PA fane	601,94a ± 197,11	572,97a ± 110,79	0,016	0,900	Non
Rdt tige + fane	2 067,01a ± 402,16	2 089,29a ± 210,46	0,002	0,962	Non
MB/JT	-739 a ± 511	-68a ± 361	1,032	0,330	Non
CB	222 858a ± 30 681	190 926a ± 24 019	0,672	0,428	Non
PB	174 456a ± 44 591	193 290a ± 38 883	0,101	0,756	Non
MB	-48 401a ± 29 589	2 363a ± 28 979	1,502	0,244	Non
Variables	Classe C2 (n = 9)		F	Pr > F	Significatif
	Traitement 3 (MPA dP)	Traitement 4 (MPA mD)			
Densité M	24 290a ± 2 384	27 338a ± 2 119	0,913	0,354	Non
Densité PA	13 796a ± 1 823	10 394a ± 1 555	2,016	0,175	Non
Tps travail	43,84a ± 4,74	45,77a ± 4,38	0,090	0,768	Non
Rdt Maïs grain	703,74a ± 130,32	842,40a ± 119,12	0,617	0,444	Non
Rdt Maïs tige	1 037,30a ± 198,95	1 129,05a ± 123,51	0,154	0,700	Non
Rdt PA fane	725,73a ± 82,82	677,50a ± 114,99	0,116	0,738	Non
Rdt tige + fane	1 763,03a ± 272,31	1 806,56a ± 199,39	0,017	0,899	Non
MB/JT	-922a ± 473	115a ± 332	3,223	0,092	Non
CB	159 067a ± 5 615	137 110b ± 5 165	8,283	0,011	Oui
PB	129 441a ± 19 380	144 821a ± 15 204	0,390	0,541	Non
MB	-29 626a ± 19 690	7 711a ± 15 109	2,263	0,152	Non

Légende : MPAdP (traitement 3) = maïs-pois d'Angole + NPK (150 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application classique (à la volée/broadcast); MPAmD (traitement 4) = maïs-pois d'Angole + NPK (75 kg/ha) + urée (50 kg/ha) en application en micro-dose (1,2 g + 0,8 g par poquet), Densité (pieds/ha); Tps = temps (j/ha); Rdt = rendement (kg/ha); MB/JT = marge brute par journée de travail (FCFA/J) PB = produit brut (FCFA/ha); CB = charge brute (FCFA/ha); MB = marge brute (FCFA/ha).

Les itinéraires techniques (semis précoces, arrière effet du précédent cultural élevé, densité élevée du maïs) pouvant donc permettre d'avoir de bons résultats agronomiques et économiques seraient ceux observés par la classe C3 pour l'association maïs-mucuna et la classe C3 pour l'association maïs-pois d'Angole. Les 2 classes C3 ne sont pas constituées des mêmes producteurs.

Les données sur les temps de travaux ne révèlent pas de différence significative entre les traitements 1 et 3 avec application à la volée comparés aux traitements 2 et 4 avec micro-dose localisées respectivement. Toutefois, on note une tendance à l'augmentation des temps de travaux sur les traitements 2 et 4. Cela peut s'expliquer par le fait que l'apport localisé exigerait plus de temps par rapport à l'apport à la volée.

Les résultats sur les rendements montrent que l'apport localisé d'engrais entraîne une augmentation des productions du maïs par rapport à l'apport à la volée, de façon non significative au seuil de 5 %. On peut dire que l'apport localisé concentre l'engrais aux pieds des cultures, ce qui favoriserait une meilleure utilisation par rapport à l'application à la volée qui induirait des pertes. Les travaux de Coulibaly et al. (2010), ont montré que la micro-dose localisée d'engrais permettrait des augmentations de rendements de sorgho de l'ordre de 60 à 130 %. La fiche d'information de la FAO (2012) indique qu'avec l'application de la micro-dose, les rendements de sorgho et de mil étaient de 44 à 120 % supérieurs à ceux des amendements et pratiques de fertilisation précédemment conseillés.

Les données montrent que les produits bruts, les marges brutes et la marge brute par journée de travail, évoluent dans le même sens que les rendements des cultures. La différence enregistrée entre les traitements n'est pas significative au seuil de 5%. On peut dire que la réduction de la quantité d'engrais NPK de moitié par rapport à la dose paysanne, serait profitable pour les agriculteurs de la zone d'étude qui évoquent les coûts élevés des engrais chimiques.

On note que les rendements en fourrage total (tiges de maïs + fanes de légumineuses) sur les essais maïs-pois d'Angole (plus de 3 200 kg/ha) sont supérieurs à ceux sur les essais maïs-mucuna (moins de 2 500 kg/ha). On peut faire l'hypothèse que dans un milieu où les sols sont pauvres du fait de leur surexploitation et où il manque du fourrage pour les animaux, les associations maïs-pois d'Angole sont les plus adaptées pour assurer la sécurité fourragère (production de fourrages). Le pois d'Angole (près de 1 500 kg/ha) est une légumineuse qui produit plus de biomasse par rapport au mucuna (moins de 500 kg/ha) dans les conditions de l'essai. Toutefois, il faut noter que le pois d'Angole produit plus de tiges lignifiées que le mucuna, donc il aurait une qualité inférieure à celle du mucuna. Les rendements en grain de maïs montrent que le système qui associe le maïs et le mucuna (plus de 2 000 kg/ha) est plus performant que celui qui associe le maïs et le pois d'Angole (moins de 1 500 kg/ha) toujours dans les conditions de l'essai. On pourrait dire que dans les conditions de l'essai la concurrence entre le maïs et le pois d'Angole est plus importante que celle entre le maïs et le mucuna pour l'eau et les éléments nutritifs.

La démarche d'expérimentation chez et par les paysans a permis de déterminer la diversité des pratiques paysannes en partant d'un itinéraire technique théorique co-élaboré. Cette diversité de pratiques pourrait s'expliquer par le fait que certaines exploitations auraient eu des contraintes (main-d'œuvre, faible équipement en matériel agricole, etc.), ou d'autres auraient développé des stratégies lors de la mise en œuvre des expérimentations. Cette démarche aurait donc l'avantage de prendre en compte les capacités réelles des exploitations et les conditions réelles du milieu pour l'élaboration des itinéraires techniques des cultures associées céréales-légumineuses avec les paysans.

Les légumineuses sont reconnues comme des espèces qui peuvent fixer l'azote atmosphérique et le recycler dans les systèmes de culture (Bado, 2002; Eillitta et al., 2003; Justes et al., 2009). L'insertion localisée d'engrais couplée avec la réduction de la dose d'engrais chimique présenteraient un avantage certain pour les producteurs de la zone cotonnière de l'ouest du Burkina Faso. Les plateformes d'innovation en construction dans le cadre du « projet intensification agroécologique (iAE) » financé par le CORAF/WECARD sont des outils pour faciliter l'adoption de ces techniques expérimentées.

## 5. Conclusion

L'étude indique que les facteurs de variabilité des cultures associées sont les dates de semis (précoces ou tardifs), la densité de peuplement et le niveau de fertilité des sols (arrière effet des précédents culturaux). Il ressort également de l'étude, qu'en diminuant de moitié la quantité d'engrais NPK et en effectuant un apport localisé, on obtiendrait une augmentation non significative des rendements en grain de maïs de 4 et 11% respectivement pour l'association maïs-pois d'Angole et maïs-mucuna, par rapport à un épandage à la volée avec la dose recommandée (150 kg/ha de NPK). L'apport localisé n'engendre pas de temps de travail supplémentaire de façon significative. Les augmentations de produit brut, de marge brute et de marge brute par journée de travail sont réelles pour les traitements avec micro-dose, sans être suffisamment importantes pour être significatives.

L'analyse comparative des deux types d'association montre que le maïs-pois d'Angole peut permettre de produire plus de fourrage (tige + fane) et moins de grain de maïs que l'association maïs-mucuna dans les conditions de l'essai.

En perspective, les fourrages produits seront valorisés dans les ateliers d'embouche bovine et ovine en saison sèche. Les fumures organiques qui seront produites dans ces ateliers d'embouche, seront utilisées pour de nouveaux essais agronomiques en saison hivernale 2013. La réduction d'engrais chimiques avec l'utilisation de fumure organique et l'insertion des légumineuses auraient des effets positifs sur l'environnement. Tout en mettant à profit les plateformes d'innovation pour la diffusion et l'adoption des techniques expérimentées, des études socio-économiques seront envisagées pour évaluer leur durabilité.

## Bibliographie

- Bado B.V., 2002. *Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso*. Thèse de doctorat, Université Laval-Québec, 197 p.
- Chia E., 2004. Principes, méthodes de la recherche en partenariat : une proposition pour la traction animale. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux* **3-4**, 233-240.
- Coulibaly A., Aune J.B., Sissoko P., 2010. *Établissement des cultures vivrières dans les zones sahélienne et soudano sahélienne du Mali*. Groupe de coordination des zones arides. Rapport No. 60, 65 p. <http://www.drylands-group.org/Articles/1933.html?l=fr>.
- Coulibaly K., Vall E., Autfray P., Nacro H.B., Sédogo P.M., 2012a. Effets de la culture permanente coton-maïs sur l'évolution d'indicateurs de fertilité des sols de l'Ouest du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **6**(3), 1069-1080.
- Coulibaly K. et al., 2012b. Co-conception d'itinéraires techniques de culture pure du niébé et du mucuna dans la zone cotonnière ouest du Burkina Faso : intérêts et limites. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, **106**(2), 139-155.
- Coulibaly K., Vall E., Autfray P., Sédogo P.M., 2012c. Performance technico-économique des associations maïs/niébé et maïs/mucuna en situation réelle de culture au Burkina Faso : potentiels et contraintes. *Tropicultura*, **30**(3), 147-154.
- Coulibaly K., Vall E., Autfray P., Nacro H.B., Sédogo P.M., 2012d. Premiers résultats d'intensification écologique et démarche participative en zone cotonnière de l'Ouest du Burkina Faso. *Agronomie Africaine*, **24**(2), 129-141.
- Diallo M.A., Vall E., 2010. Changements paysagers et dynamiques pastorales dans l'ouest du Burkina Faso. *Rencontre autour des Recherches sur les Ruminants*, **17**, 175-178.
- Eilittä M., Sollenberger L.E., Littell R.C., Harrington L.W., 2003. On-farm experiments with maize-mucuna systems in the los tuxtlas region of Veracruz, Southern Mexico. ii. Mucuna variety evaluation and subsequent maize grain yield. *Experimental Agriculture*, **39**, 19-27.
- FAO, 2012. *La fertilisation localisée au semis des cultures ou microdose*. Fiche d'information. FAO Niger, Niamey, 4 p. <http://www.fao.org/docrep/017/ap781f/ap781f.pdf>
- Gomgnimbou P.K.A., Savadogo P.W., Nianogo A.J., Millogo-Rasolodimby J., 2010. Pratiques agricoles et perceptions paysannes des impacts environnementaux de la cotonculture dans la province de la KOMPIENGA (Burkina Faso). *Sciences & Nature*, **7**(2), 165-17.
- Guibert H., M'Biandoun M., Olina J.P., 2002. Productivité et contraintes des systèmes de culture au Nord-Cameroun. In : Jamin J.Y., Seiny B.L., Floret C. (eds). *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis*. Actes du colloque, Mai, 2002, Garoua (Cameroun), 9 p.
- Justes E., Bedoussac L., Prieur L., 2009. Est-il possible d'améliorer le rendement et la teneur en protéines du blé en Agriculture Biologique au moyen de cultures intermédiaires ou de cultures associées? *Innovations Agronomiques*, **4**, 165-176.
- Kiba D.I., 2012. *Diversité des modes de gestion de la fertilité des sols et leurs effets sur la qualité des sols et la production des cultures en zones urbaine, péri-urbaine et rurale au Burkina Faso*. Thèse de doctorat unique, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 172 p.

- Kiendrebeogo T., Hamadou S., Logtene Y.M., Kabore-Zoungrana C.Y., 2008. Typologie des élevages porcins urbains et périurbains de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Revue Africaine de Santé et de Production Animale*, **6**(3-4), 205-212.
- Koulibaly B., Traoré O., Dakuo D., Zombré P.N., Bondé D., 2010. Effets de la gestion des résidus de récolte sur les rendements et les bilans culturaux d'une rotation cotonnier-maïs-sorgho au Burkina Faso. *Tropicultura*, **28**(3), 184-189.
- Meynard J.M., 2012. La reconception est en marche! Conclusion au Colloque Vers des systèmes de culture innovants et performants : De la théorie à la pratique pour concevoir, piloter, évaluer, conseiller et former. *Innovations Agronomiques*, **20**, 143-153.
- Morou I., Rippstein G., 2004. *Développement des cultures fourragères dans le Bassin de l'Arachide au Sénégal : typologie des paysans, production de fourrages*. Animal Production Research Working Paper N° 1. ITC (International Trypanotolerance Centre), Banjul, The Gambia, 53 p.
- Ouédraogo S., 2004. Impact économique des variétés améliorées du niébé sur les revenus des exploitations agricoles du plateau central du Burkina Faso. *Tropicultura*, **21**(4), 204-210.
- Reau R., Monnot L.A., Schaub A., Munier-Jolain N., Pambou I., Bockstaller C., 2012. Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs. *Innovations Agronomiques*, **20**, 5-33.
- Sanogo O.M., Ridder N., Keulen H.V., 2010. Diversité et dynamique des exploitations agricoles mixtes agriculture-élevage au sud du Mali. *Cahiers Agricultures*, **19**(3), 185-193.
- Vall E. et al., 2012. *Recherche action en partenariat et innovations face aux changements globaux de l'Afrique Subsaharienne*. 3<sup>ème</sup> Semaine Scientifique Agricole de l'Afrique de l'Ouest et du Centre, Cora/Wecard, N'Djaména 14-17 mai 2012.

## Techniques de production agricole et productivité des femmes rurales : le cas du cacao de la région du centre du Cameroun

Abessolo Hélène Nathalie, Université de Yaoundé II, Cameroun, E-mail : hhelenenathalie@yahoo.fr  
Yogo Thierry, Université de Yaoundé II, E-mail : yogout@gmail.com

### Résumé

La présente étude a pour objectif d'analyser l'impact de l'adoption des techniques agricoles modernes sur la productivité des femmes rurales de la région du centre du Cameroun. Pour ce faire, les auteurs ont mobilisé des outils économétriques et statistiques appliqués sur des données issues de la troisième Enquête Camerounaise auprès des Ménages (ECAM III), sur la culture de cacao.

Au terme de l'étude, il ressort que l'adoption des techniques ne permet pas aux femmes cultivatrices de cacao du Centre du Cameroun d'augmenter significativement leur productivité aussi bien de manière relative (par rapport aux hommes), que de manière absolue. En outre, ces résultats mettent en évidence un effet significatif et positif de l'adoption des techniques modernes sur la productivité globale des agriculteurs. À la lumière des ces résultats, les mesures de politiques économiques devraient s'orienter vers la facilitation de l'accès des agriculteurs aux techniques et outils de production modernes mais aussi l'encadrement des cultivateurs serait indispensable.

### Agricultural techniques and productivity of rural women: the case of coco in the centre of Cameroon

This present study has as objective to analyze the impact of adopting modern agricultural techniques on the productivity of rural women in the central region of Cameroon. The authors mobilized econometric and statistical tools applied to data obtained from the third Consumption Households Survey (ECAM III) conducted in 2007, especially those related with coco farm in Cameroon.

At the end of this study, it was observed that the adoption of techniques does not permit women cultivating coco in the central region of Cameroon to increase significantly their productivity, in a relative manner (compared to men), as well as in an absolute manner. Besides, these results provide significant evidence in the effects and positivity of adopting modern techniques on the global agricultural productivity. From these results, political-economical measures need to be orientated towards the facilitating access to modern techniques and tools of production to farmers but also their follow up will be very necessary.

## 1. Introduction

L'agriculture est une activité qui occupe une place importante dans les pays en voie de développement et surtout en Afrique, c'est pour cela que les gouvernements africains placent l'agriculture en tête des priorités pour le développement de leur pays<sup>1</sup>. Cette agriculture représente en moyenne 50% du produit intérieur brut (PIB), participe à plus de 80% à la valeur des échanges commerciaux et apporte à l'industrie plus de 50% des matières premières.

Les pays subsahariens sont généralement dotés de ressources naturelles et humaines nécessaires à un développement agricole soutenu. Cette agriculture est essentiellement dominée par les petites exploitations familiales.

<sup>1</sup> Déclaration de Maputo adoptée en 2003 par, les chefs d'États de l'Union Africaine avec deux objectifs principaux à savoir accroître la productivité agricole de 6% par an jusqu'en 2015 et engager au moins 10% de leur budget au secteur agricole.

La contribution de l'agriculture à la croissance économique du Cameroun est plus importante que les autres secteurs et s'élève à plus de 22 % du PIB (OCDE, 2012a), contre 17 % pour l'industrie et 18 % pour les services. L'agriculture contribuait pour près d'un tiers au PIB et représenterait plus de 25,16 % des exportations et près de 48 % de la population dépendait essentiellement des activités agricoles (FAO, 2007). Le secteur agricole est au centre du monde rural et occupe près de 60 % de la population active, c'est une agriculture qui demeure extensive avec l'utilisation de systèmes agricoles archaïques.

Près d'un milliard de personnes souffrent de la faim dans le monde. Les données de la banque mondiale de 2001 font état que la population de l'Afrique sub-saharienne est passée de 578,5 millions en 1995 à 659 millions en 2000 avec une croissance annuelle d'environ 2,5 %. Les dernières émeutes de la faim observées en 2008 dans plusieurs pays africains révèlent en plein jour une situation guère reluisante sur le plan agricole, car depuis les années 1970, la production alimentaire par tête du continent a baissé de plus de 20 % (Ouedraogo, 2005). Cette population ne cesse de s'accroître et suivant les projections de la Banque Mondiale, ce chiffre sera de 1 010 millions en 2010 et 1 500 millions d'habitants en 2020<sup>2</sup>.

Dans les pays en développement, 792 millions de personnes souffrent de la sous-alimentation (Gamblin, 2002). Plus récemment encore, plus de 40 % de la population mondiale exerçant dans le secteur agricole, on compte à travers le monde plus de 870 millions de malnutris (FAO, 2012). Au Cameroun, on estimait qu'en 2008 près de 25 % de la population camerounaise était touchée par l'insécurité alimentaire (MINADER/FAO, 2007). Cette situation est toute aussi préoccupante qu'on compte quelques années plus tard, 15,4 % de malnutris alors que 48 % de sa population active travaille dans le secteur agricole (FAO, 2012).

Une étude faite par Rapsomanikis et Vezzani (2012) montre que l'écart de productivité agricole ne se réduit pas entre les pays moins productifs et les plus productifs, pire encore ce fossé s'est aggravé<sup>3</sup>. Par ailleurs, la croissance annuelle de la population du Cameroun, de 3,2 % en moyenne, est significativement plus élevée que le taux de croissance annuel moyen de la production agricole. Cet état de fait met au cœur du débat, la problématique de la productivité agricole dans un contexte d'efforts de lutte contre l'insécurité alimentaire et de réduction de la pauvreté dans les zones rurales où elle sévit le plus d'où l'intérêt de notre étude.

Dans cette optique, il faudra améliorer à la fois la production et la productivité agricole<sup>4</sup>. Pour cela il faudra que les agriculteurs adoptent l'usage des ressources de productivité. C'est pour cela que l'objectif de notre étude est d'analyser l'impact de l'adoption des techniques agricoles modernes sur la productivité des femmes rurales de la région du Centre du Cameroun. Partant de cet objectif nous formulons l'hypothèse que :

– l'adoption des techniques agricoles modernes accroît la productivité des femmes rurales de la région du Centre-Cameroun.

Avant de vérifier cette hypothèse avec des données empiriques, nous allons d'abord baliser le concept de productivité agricole, le concept d'efficacité technique et le concept des nouvelles techniques de production.

<sup>2</sup> Cette croissance créera une forte demande en besoins alimentaires.

<sup>3</sup> La productivité agricole baisse rapidement dans le monde surtout en zones rurales, où vivent et travaillent 70 % des 1,2 milliard de personnes les plus démunies, conséquence de la dégradation des terres, qui affecte dans une certaine mesure jusqu'aux deux tiers des terres agricoles dans le monde.

<sup>4</sup> L'agriculture étant la source principale des revenus des populations africaines (IFPRI, 2009).



## 2. Revue de la littérature

### 2.1. Évolution et analyse de la théorie de la productivité

La notion de productivité a commencé à se préciser avec les travaux des physiocrates tels que Quesnay (1694-1774). Cet auteur précurseur, de la propriété foncière, constate qu'en engageant des frais plus élevés (achats de bœufs, chevaux, charrue, et fumier), la terre est mieux cultivée avec moins de travail et donne à son propriétaire un produit plus important. Il en déduit ce qui sera qualifié plus tard de « *théorie du surplus agricole*<sup>5</sup> ».

Fourastié (1957), dans son ouvrage *La productivité*, note que : « la notion de productivité est à peu près la seule notion admise à la fois par les théories économiques marxistes ou libérales ». Selon cet auteur, c'est depuis un très petit nombre d'années que la productivité est apparue sous son jour essentiel, c'est-à-dire comme une mesure du *progrès technique*.

Les classiques introduisent la notion de productivité du travail, pour désigner le rendement physique du travail (Dayre, 1952).

En 2010, Benoit Faivre Dupaigre, tirant parti des travaux de Say (1828-1829), démontre que les marginalistes ont changé complètement la problématique de la productivité. Cet auteur pense que la production met en jeu les services productifs de trois éléments : l'industrie de l'homme (au sens actuel de travail), les capitaux, et les agents naturels ; ce qui conduit plus tard Von Böhm Bawerk à la qualifier de « *fondateur de la théorie naïve de la productivité* » (Jevons, 1871).

Les économistes néo-classiques pensent que selon la théorie de la répartition ce n'est pas seulement la terre, mais aussi tous les facteurs de production qui reçoivent une rémunération égale à leur productivité marginale à l'optimum ; c'est à partir de là que découle le théorème de l'épuisement du produit élaboré par l'économiste américain John Bates Clark (1847-1938). Ce théorème stipule que : *lorsque la fonction de production est homogène de degré 1, lorsque les facteurs sont rémunérés à leur productivité marginale, alors le revenu de la production est intégralement absorbé par les facteurs* (Faivre Dupaigre, 2010).

Au 18<sup>e</sup> siècle, une approche analytique du concept de productivité est déjà utilisée par les physiocrates pour décrire la faculté de produire. Au fil du temps, son sens s'est affiné et au début du 20<sup>e</sup> siècle, les économistes l'ont rattachée au mouvement du rapport entre le volume de la production et le volume des moyens mis en œuvre pour obtenir cette production. La productivité est une mesure de l'efficacité du processus de production. Ainsi définie, elle apparaît au cœur du problème économique par excellence, comme la meilleure utilisation possible des ressources rares (Combemale, Parienty, 1994).

### 2.2. Définition et différentes approches du concept de productivité

#### 2.2.1. Définition du concept de productivité

Le concept de productivité tire son origine du verbe latin *producere* qui signifiait « mener en avant, présenter, étendre mais aussi procréer, développer, faire grandir », et du participe correspondant *productus*. Ce concept vient d'une famille de mots français : *Produire* (1361), *producteur* (1442, rare avant le XVIII<sup>e</sup>), *produit* (1690), *production* (1695) et le dernier né ... *productivité* (1766) (Petit Robert, 1981 cité par Destais et al., 2000).

De manière générale, la productivité est définie comme le rapport entre la production d'un bien ou d'un service et l'ensemble des intrants nécessaires pour le produire. Elle constitue

<sup>5</sup> La théorie du surplus agricole établit avant tout le rôle des avances en capital dans l'augmentation de la production agricole, et donc dans l'accroissement du revenu national, puisqu'elle considère l'agriculture comme seule source de richesse.



en fait, une mesure de l'efficacité avec laquelle une économie met à profit les ressources dont elle dispose pour fabriquer des biens ou offrir des services (Gamache, 2005). En d'autres termes, la productivité est le rapport entre la production et l'ensemble ou partie des ressources mises en œuvre pour la réaliser.

Dans le modèle néoclassique de base, la production est tenue pour une fonction de la quantité du travail employée, du niveau du stock de capital et de la productivité totale des facteurs (PTF). On calcule habituellement la productivité totale de facteurs de façon résiduelle en soustrayant de la croissance de la production, les rapports relatifs de la croissance de l'intrant de travail et de l'intrant de capital (Sargent, Rodriguez, 2000).

Cependant il existe une formule satisfaisante pour l'esprit et qui sert de base aux travaux des spécialistes en matière de productivité. Cette formule qui permet l'analyse économique de la notion de productivité, se trouve notamment dans la «terminologie de productivité» qui a été inspirée par les recherches d'une commission française présidée par Fourastie (1957) : «*la productivité est le quotient d'une production par l'un des facteurs de cette production*». On parle ainsi de la productivité du sol, du capital, des matières premières, de l'outillage et bien évidemment du travail de l'homme.

$$\text{Productivité d'un facteur} = \frac{\text{production}}{\text{quantité de ce facteur}}$$

Parmi toutes les définitions proposées jusqu'ici, celle de Fourastié est l'unique qui indique clairement le but de plusieurs recherches «la productivité est la mesure de progrès technique» (Fourastié, 1957). Mesure des effets économiques du produit, tel est en effet le but vers lequel tendent tous les efforts des spécialistes en matière de productivité.

### 2.2.2. La mesure de la productivité

Dans la littérature économique, la première mention d'un indice de productivité est attribuée à Morris Copeland en 1937 dans son ouvrage «*Concepts of National Income*». Les premiers travaux d'importance pour en mesurer le niveau et les impacts ont cependant été amorcés quelques années plus tard. Au début des années 1940, plusieurs économistes dont Timbergen (1942) et Stigler (1947) se sont intéressés à ces questions.

Il existe une multitude d'indicateurs pouvant rendre compte de l'évolution de la productivité : les mesures unifactorielles et les mesures multifactorielles constituent les deux principales catégories habituelles utilisées pour tenir compte des différents indicateurs (Gamache, 2005).

La mesure de la croissance de la productivité sert à rendre compte de l'évolution technique. Par technologie, on entend «les moyens connus au moment considéré pour transformer des ressources en produits réclamés par l'économie» (Griliches, 1997)<sup>6</sup>. Les mesures de productivité sont légion, le choix dépendant de l'objectif fixé et, bien souvent, des données disponibles. Globalement, on distingue les mesures de productivité unifactorielle (mettant en relation une mesure de la production et un seul facteur) et multifactorielle (où l'on rapporte une mesure de la production à plusieurs facteurs).

Il est possible d'identifier divers facteurs déterminant la croissance de la productivité du travail, dont le taux de variation de la Productivité Multifactorielle des Facteurs (PMF). On peut établir ces liens, ainsi que d'autres, entre les mesures de productivité en s'aidant de la théorie économique de la production.

Les mesures de la productivité du travail reflètent les effets combinés des évolutions touchant le facteur capital, les facteurs intermédiaires et la productivité dans son ensemble.

<sup>6</sup> In OCDE (2001).

La théorie économique de la mesure de la productivité remonte aux travaux menés par Tinbergen (1942) et par Solow (1957). Ces auteurs ont formulé des mesures de productivité dans le contexte d'une fonction de production, et les ont reliées à l'analyse de la croissance économique. Depuis lors, cette discipline s'est considérablement développée, en particulier suite aux contributions majeures apportées par Jorgenson et Griliches (1967), Jorgenson (1995a; 1995b) et Diewert (1976). Aujourd'hui, l'approche de la mesure de la productivité par la théorie de la production est cohérente et solidement établie.

Globalement, les approches économétriques conviennent avant tout aux études isolées et à visée universitaire de la croissance de la productivité.

La productivité du travail est un indicateur utile : elle renvoie au facteur de production le plus important, elle est intuitivement séduisante et relativement facile à mesurer. Cependant, elle ne reflète que partiellement les capacités personnelles des travailleurs ou l'intensité des efforts accomplis par ceux-ci.

Pour poursuivre cette analyse, on peut notamment faire appel aux mesures de productivité multifactorielle (PMF). Mesurer la productivité multifactorielle contribue à démêler les contributions directes du travail, du capital, des facteurs intermédiaires et de la technologie à la croissance. Il s'agit d'un outil important pour examiner les profils de croissance passés et pour évaluer le potentiel de croissance économique à venir.

### 2.3. Concept d'efficacité technique

Les études empiriques du début des années 1950 écartaient de façon implicite la possibilité que les entreprises puissent exploiter leurs ressources d'une manière inefficace.

Plusieurs économistes renommés tels que Carlson (1939), Hicks (1946) et Samuelson (1947) ont fait des travaux caractérisés essentiellement par l'omission du traitement de l'efficacité.

Les années 1960 ont été marquées par l'engouement sans précédent pour l'innovation technologique en général et pour les nouvelles technologies de production en particulier, stimulant du même coup l'intérêt des chercheurs pour étudier les impératifs d'une utilisation efficace de ces nouvelles technologies de production (Nishimizu, Page, 1982).

Le concept d'efficacité prend alors une place de plus en plus importante dans les débats et les recherches scientifiques, et cela dans tous les secteurs de l'économie. Ainsi, plusieurs approches et méthodes d'évaluation et de mesure de l'efficacité ont été développées et utilisées dans des études empiriques, et ce pour plusieurs secteurs d'activités. Une unité de production est dite efficace si, à partir du panier d'intrants qu'elle détient, elle produit le maximum d'extrants possibles ou si, pour produire une quantité donnée d'extrants, elle utilise les plus petites quantités possibles d'intrants (Atkinson, Cornwell, 1994). L'efficacité technique est une mesure de la performance productive d'une exploitation agricole. Elle peut être définie dans le contexte rural, comme étant la capacité d'un ménage agricole à maximiser sa production à partir d'un ensemble d'intrants donnés.

Au lieu d'être considérée comme une mesure du revenu ou de production, l'inefficacité technique devrait être considérée comme une erreur de gestion.

L'inefficacité technique est l'écart entre la production optimale d'un agriculteur et la production réalisée. La distance entre la production réelle et la production optimale étant donnés les inputs, indique le niveau de l'inefficacité de production de l'entreprise individuelle (Greene, 1993 ; Friebel et al., 2003). La mesure du degré d'efficacité d'une unité de production permet donc de cerner si cette dernière peut accroître sa production sans pour autant consommer plus de ressources, ou diminuer l'utilisation d'au-moins un intrant tout en conservant le même niveau de production.

Les travaux pionniers sur le concept d'efficacité sont attribués à Koopmans (1951) et Debreu (1951). Alors que Koopmans fut le premier à proposer une mesure du concept d'efficacité, Debreu, lui, fut le premier à le mesurer de façon empirique. Debreu proposa ainsi le *coefficient d'utilisation des ressources* qui portait essentiellement sur des mesures de ratio extrant-intrant. Cependant, Farrell (1957) introduisit le concept d'efficacité économique tout en distinguant les notions d'efficacité technique et d'efficacité allocative.

Deux principales méthodes sont généralement utilisées pour analyser l'efficacité de la production :

- L'approche paramétrique, telle que proposée par Aigner et al. (1977), consiste à spécifier et à estimer une fonction de frontière de production paramétrique, et le calcul de l'inefficacité technique. Une frontière de production reflète la production maximale obtenue étant donné un ensemble d'inputs ; l'efficacité technique, dans ce cas, décrit la proximité de la production d'un ménage agricole à cette production possible (Coelli et al., 2002). Bien que cette approche fournit un cadre pratique pour la réalisation des tests d'hypothèses, les résultats peuvent être sensibles à la forme paramétrique choisie (Chavas et al., 2005 ; Wouterse, 2010).
- Les approches non paramétriques et paramétriques permettent la détermination d'une fonction frontière déterministe partagée par toutes les firmes c'est-à-dire, que toutes les firmes partagent un mode de production commun et leurs performances respectives sont comparées à la même frontière de production, de coût ou de profit. De plus, tout écart que les firmes affichent par rapport à la frontière est totalement attribué à de l'inefficacité. Farrell (1957) fut aussi à l'origine de l'approche déterministe et paramétrique. Il propose l'approximation de la fonction de production efficace par une forme fonctionnelle connue *a priori*. Ainsi, une spécification plus facile et une meilleure analyse des différentes propriétés algébriques de cette fonction deviennent possibles. Il emploie la forme fonctionnelle Cobb-Douglas<sup>7</sup> pour illustrer l'utilisation de cette approche sur des données agricoles de 48 États américains, tout en imposant des rendements constants à l'échelle. Aigner et Chu, (1968) ont continué sur la même voie en utilisant également la forme fonctionnelle Cobb-Douglas pour estimer une fonction de production frontière à partir d'un échantillon de firmes manufacturières américaines. Ils ont, par ailleurs, relâché l'hypothèse des rendements d'échelle constants en faveur de l'hypothèse moins contraignante de l'homogénéité de la fonction de production. Inspiré par les suggestions de Aigner et Chu (1968), Timmer (1971) a proposé le modèle probabiliste pour pallier l'une des lacunes de l'approche déterministe et paramétrique, soit la sensibilité de la fonction frontière aux observations extrêmes. Cette méthode en trois étapes consiste à estimer, dans un premier temps, la fonction frontière pour l'ensemble de l'échantillon. Par la suite, la taille de l'échantillon est réduite d'un certain nombre de firmes, choisies *a priori*, parmi celles qui sont les plus près de la frontière. Finalement, une nouvelle frontière est estimée à partir de l'échantillon réduit. Timmer a constaté aussi que l'élimination de quelques observations extrêmes faisait en sorte que les coefficients rattachés à la fonction de production frontière devenaient beaucoup plus stables. Malgré la nature arbitraire de cette approche en ce qui a trait au choix du pourcentage des firmes à éliminer de l'échantillon initial, plusieurs auteurs s'en sont inspirés, dont Bravo-Ureta (1986), Ali et Chaudhry (1990), dans des études portant sur le secteur agricole. Une autre méthode proposée par Richmond (1974) est utilisée pour estimer la fonction frontière déterministe. Il s'agit de la méthode des moindres carrés ordinaires corrigés (MCOC) (Taylor et al., 1986 ; Aly et al., 1987 ; Tauer, Belbase, 1987 ; Ekayanake, Jayasuriya, 1987 ; Kalaitzandonakes et al., 1992). Cette méthode consiste à estimer la fonction de production moyenne pour l'ensemble de l'échantillon et à ajuster l'origine en lui ajoutant la valeur de la plus grande erreur positive. Cette méthode fait en sorte qu'une seule entreprise est parfaitement efficace et que les niveaux d'efficacité des autres entreprises sont calculés par rapport à cette entreprise. Greene (1980) a prouvé

<sup>7</sup> In Farrell, 1957.

que les estimateurs obtenus par cette méthode sont consistants si les termes d'erreurs aléatoires sont indépendants et possèdent une distribution identique. Cette approche est cependant sujette à plusieurs critiques. La plus importante renvoie à la sensibilité de cette correction de l'ordonnée à l'origine quant à la distribution assignée au terme d'erreur. Cette notion de frontière déterministe néglige la possibilité que la performance d'une firme puisse être affectée par plusieurs facteurs hors de son contrôle, tels les aléas climatiques, le mauvais rendement des machines ou encore les pénuries des intrants, dont l'effet est aussi important que les facteurs contrôlables par la firme.

Ces arguments sont à l'origine du développement de l'approche stochastique ou d'erreur composée, initialement proposée par Aigner et al. (1977), Meeusen et Van Den Broek (1977), et améliorée par Jondrow et al. (1982) pour permettre l'estimation d'indices d'efficacité technique spécifique à chaque firme. Cette approche modifie la fonction de production standard en supposant que l'inefficacité forme la partie du terme d'erreur. Ce terme d'erreur composé inclut donc un composant d'inefficacité et un composant purement aléatoire qui capture l'effet des variables qui sont au-delà du contrôle de l'unité de production qui est analysée (Nana Djomo, Ondo Atangana, 2012).

La fonction de frontière de production est bâtie sur le principe suivant : la production optimale peut être réalisée, si toutes les décisions ont été prises en fonction des meilleures pratiques (Friebel et al., 2003). Dans les petites exploitations agricoles, l'efficacité technique d'une exploitation agricole est une mesure de sa capacité à produire le maximum d'output possible à partir d'un ensemble donné d'intrants et la technologie de production (Aigner et al., 1977 ; Meeusen, van den Broeck, 1977). Ainsi, l'approche de frontière stochastique (AFS) permet d'isoler l'influence de facteurs autres que l'efficacité. Toutefois, elle s'appuie sur une approche paramétrique dont il est nécessaire d'imposer *a priori* la forme fonctionnelle particulière (Nana Djomo, Atangana Ondo, 2012). De fait, il est nécessaire de spécifier des hypothèses distributionnelles pour séparer les deux composants du terme d'erreur.

Par ailleurs, l'indice de productivité de Malmquist (1953) permet d'observer les changements sur la productivité à partir des évolutions de l'efficacité technique. En outre, à la différence de l'AFS, il offre un taux différent de changement technique pour chaque individu. Aussi, s'il emploie un modèle de frontière non-paramétrique, qui est le plus généralement l'approche employée, il ne sera pas nécessaire d'imposer n'importe quelle forme fonctionnelle aux données, ni faire des suppositions distributionnelles pour le terme d'inefficacité, à la différence du AFS. L'inconvénient principal de cette approche est que l'évaluation d'inefficacité peut montrer un déplacement ascendant, capturé comme l'inefficacité l'influence d'autres facteurs, tels des erreurs dans la mesure de données, la malchance, le temps, etc. L'indice de Malmquist emploie la notion de fonction de distance, donc son calcul exige l'évaluation antérieure de la frontière correspondante. Maudos et al. (1998) ont employé la méthodologie de frontière déterministe non paramétrique (Nana Djomo, Atangana Ondo, 2012). Seulement deux périodes ( $t$  et  $t+1$ ) ont été considérées, et ces définitions ont été faites en prenant comme référence la technologie de la période  $t$  ou  $t+1$ . Cependant, l'analyse du changement productif d'une plus longue série qui s'appuie sur l'utilisation d'une technologie connue (référéncée) peut causer des problèmes lorsqu'on approche l'année de référence. Selon Moorsten (1961), le choix d'une année de référence n'est pas neutre dans les résultats. Pour essayer de résoudre ces problèmes, on offre deux méthodologies. La première consiste à calculer deux indices basés sur les paires des années consécutives qui prennent comme base la technologie des deux périodes  $t$  et  $t+1$  et le calcul de la moyenne géométrique des deux. Ainsi en est-il de l'admission de la technologie de référence pour examiner la minimisation des problèmes causés par le changement (Fare et al., 1994). Une autre procédure, employée par Berg et al. (1992) pour résoudre les problèmes mentionnés ci-dessus consiste à considérer deux frontières de référence correspondant aux années initiales et finales et de prendre la moyenne géométrique de deux indices de Malmquist.

## 2.4. Les déterminants de la productivité agricole

Nous verrons dans cette partie les déterminants économiques ayant été identifiés par les études empiriques comme les variables ayant les plus grands impacts sur la productivité agricole.

Il ressort des nombreuses études sur la productivité que trois principaux facteurs économiques exercent une influence majeure sur sa croissance. Ces trois principaux facteurs, font l'objet d'un large consensus parmi les économistes à travers le monde ; ce sont l'investissement en matériel et outillage, le développement des compétences et l'ouverture au commerce et à l'investissement (Harris, 1999). Dans le cadre de ce travail, nous nous limiterons aux deux premiers facteurs. À ceux-ci s'ajoutent plusieurs autres ayant les effets indirects et qui suscitent encore des débats quant à l'importance de leur influence sur la croissance de la productivité (Gamache, 2005). Notamment, la taille de l'exploitation et l'innovation si on se limite au niveau des petits exploitants agricoles du monde rural.

Des travaux réalisés dans la zone CEMAC montrent que le niveau et l'évolution de la productivité de la main-d'œuvre agricole et de la terre auxquels il convient d'ajouter le coût de transaction constituent trois paramètres importants qui déterminent la compétitivité et la rentabilité de l'agriculture (CEMAC, 2004).

En général, l'accroissement de la productivité a une forte corrélation avec *l'investissement en matériel et outillage* (exprimé en proportion du PIB). Les pays qui ont des taux d'investissement élevés en matériel et outillage par rapport au PIB ont aussi des taux de croissance élevés dans l'ensemble. Ce réajustement permet de corriger l'effet de la convergence conditionnelle ou le « rattrapage », toute chose égale par ailleurs, on peut s'attendre à ce qu'un pays pauvre connaisse une croissance plus rapide qu'un pays riche (Harris, 1999). Par ailleurs, les changements de technologie qui se feraient par les investissements en matériel et outillage ont une grande importance dans la croissance de la productivité agricole en Afrique (Nkamleu, 2004).

Le *développement des compétences* constitue un moteur de la croissance à travers deux canaux. Dans un premier temps, des travailleurs plus qualifiés favorisent l'innovation et la production de nouvelles technologies. Les individus détenant des compétences plus élevées ont une propension à transmettre à leur entourage, ils contribuent ainsi à l'accroissement de la productivité des autres travailleurs (Harris, 1999). Gamache (2005) identifie quelques éléments qui peuvent permettre le développement des compétences et d'influencer la productivité parmi lesquels : le taux de fréquentation scolaire, la formation continue, l'expérience des travailleurs et l'échange d'information.

En ce qui concerne les autres facteurs économiques qui influencent la productivité, on présentera ici l'innovation et la diffusion des technologies. Les principaux facteurs qui causent la faible productivité de l'agriculture dans la zone CEMAC sont : l'utilisation négligeable des engrais chimiques, le manque de maîtrise de l'eau, l'utilisation fort limitée des semences améliorées et la prédominance des pratiques culturelles non éprouvées, par conséquent une amélioration de l'usage des ces facteurs sub-cités permettra d'accroître la productivité agricole (CEMAC, 2004).

Dans la littérature, l'innovation s'assimile au progrès technique pour Schumpeter, qui consolide théoriquement le rôle de l'innovation dans la croissance de la productivité. Le progrès technique peut se définir comme une nouvelle manière de produire qui permet d'obtenir plus de produits avec les mêmes quantités de facteurs de production (Beitone et al., 2008). Sadoulet et De Janvry (1995), à partir d'un modèle néoclassique démontrent le lien entre productivité et progrès technique. Le progrès technique est ici vu comme usage des engrais et des intrants agricoles.

Trois facteurs agissent sur le taux de croissance de la production : le volume des ressources mobilisables dans la production, l'état de la technologie et l'efficacité avec laquelle ces ressources sont utilisées (Gillis et al., 1990).

Certains facteurs limitent la productivité agricole ; il s'agit de la taille de l'exploitation et des coûts de transactions :

- Pour la taille de l'exploitation, à mesure que la densité de la population augmente, la terre devient relativement de plus en plus rare et la façon de la distribuer a pris une place importante dans les discussions politiques (Piette, 2006). Au début de l'économie du développement, l'étude de la relation entre la taille d'une exploitation et sa productivité a pris une place importante dans la recherche.

Les études théoriques et empiriques suggèrent que cette relation est négative, c'est-à-dire que plus la taille d'une exploitation est grande, plus celle-ci est inefficace (Berry, Cline, 1979 ; Deolalikar, 1981 ; Thapa, 2007).

- Quant aux coûts de transaction, le lien entre l'infrastructure publique et la productivité est souvent positif, même si ce n'est pas systématique. Ce lien n'est pas unidirectionnel et n'est pas facile à mesurer. Ainsi, l'absence des infrastructures publiques est souvent source de coûts de transactions. Ces coûts de transactions peuvent influencer la décision de participer ou non au marché des agriculteurs comme le montrent De Janvry et al. (2000). On distingue, selon ces auteurs, les coûts de transactions proportionnels et les coûts de transactions fixes.

Par ailleurs, Binswanger et al. (1993) ont démontré pour l'Inde dans les années 1970 que les routes sont aussi importantes pour la croissance des outputs agricoles que l'utilisation des engrais, ceci grâce à la réduction des coûts de transaction.

La nouvelle technologie, de par sa suprématie, pousse la productivité de l'économie, dont l'économie agricole au niveau plus élevé.

## 2.5. Nouvelles techniques de production et efficacité technique

On définit habituellement la productivité comme le rapport, en volume, d'une production sur un ou plusieurs facteurs de production.

La technologie peut soit être incorporelle (plans techniques, résultats scientifiques, nouvelles techniques d'organisation) soit prendre la forme de produits nouveaux (progrès de la conception et de la qualité de nouvelles générations de biens d'équipement et de facteurs intermédiaires).

Le progrès technique exerce une incidence économique lorsqu'il modifie les conditions de production. Cette action peut se traduire par des modifications de quantité, de qualité des biens produits ou des deux à la fois ; «il s'agit de l'application des biens nouveaux dans le processus de production des biens existants».

Les progrès de l'efficacité technique (ou gains d'efficacité) tendent donc vers des «pratiques exemplaires», ou vers l'élimination des facteurs d'inefficacité technique ou organisationnelle.

Dans les modèles de changement comme celui de Solow (1957), il est postulé qu'une bonne part de la croissance de la productivité peut être attribuée aux augmentations de la qualité des biens de production (Sargent, Rodriguez, 2000).

Le changement technologique est le moteur de la croissance économique à long terme et du relèvement du niveau de vie. Cette observation est largement attestée (OCDE, 1998 ; 2000).

Cependant, il arrive souvent que la mesure de l'évolution technologique se limite à l'observation du taux de croissance de la PMF, alors qu'une étude plus minutieuse, tant sous l'angle conceptuel qu'empirique, montre que PMF n'est pas forcément synonyme de technologie, et que l'évolution technologique ne se traduit pas exclusivement par des variations de la PMF.

L'évolution technologique ne se traduit pas forcément par une croissance de la PMF. La théorie économique comme les travaux empiriques accordent une grande importance



à la distinction entre technologie corporelle et incorporelle (OCDE, 2001). Les évolutions de la technologie corporelle sont les avancées dans la conception et la qualité de nouvelles générations de capital et de produits intermédiaires : les machines et les équipements incarnent les fruits de la recherche réalisée par la branche qui produit les biens d'investissement, et d'autres secteurs accèdent aux résultats de ces recherches en achetant des biens d'équipement ou des biens intermédiaires nouveaux. La variation de la technologie incorporelle, en revanche, a trait aux avancées de la science, aux plans techniques et aux formules ainsi qu'à la diffusion des connaissances sur la manière de faire les choses, y compris l'amélioration de la gestion et les changements organisationnels. Cette distinction est importante, parce que la diffusion de l'évolution technique corporelle est tributaire de transactions sur le marché : les investissements en biens de capital ou en produits intermédiaires améliorés se poursuivront jusqu'à ce que leur contribution marginale à la création de revenus devienne égale à leur coût d'utilisation, lui-même fonction du prix du bien d'équipement sur le marché. En revanche, la diffusion de l'évolution technique incorporelle ne suppose pas forcément de transactions sur le marché : l'information peut circuler librement et son utilisation par une personne ne restreint normalement pas la capacité des autres personnes à l'utiliser aussi.

Sur le plan économique, ces effets externes sont des surcroûts de productivité globale, dépourvus de coûts, générés par certaines catégories de capital humain ou physique employées dans la production.

Dans le même temps, il convient de compléter la comptabilité de la croissance par des études institutionnelles, historiques et de cas si l'on veut explorer certaines des causes sous-jacentes de la croissance, de l'innovation et de la variation de la productivité.

L'utilisation des engrais minéraux et des produits phytosanitaires, de la mécanisation et de l'irrigation y ont aussi contribué. Elle a eu pour conséquence un accroissement spectaculaire de la productivité agricole (mais les estimations de cette augmentation restent encore très controversées) et a permis d'éviter les famines catastrophiques, avec pour résultat une augmentation sans précédent de la population mondiale depuis 1950<sup>8</sup>.

### 3. Méthodologie

L'objectif de cette section est d'évaluer empiriquement l'hypothèse selon laquelle l'adoption des techniques agricoles modernes permet d'accroître la productivité agricole des femmes rurales dans la région du centre du Cameroun. La culture qui est choisie dans le cadre de cette analyse est le cacao. La principale justification tient de ce que le cacao est l'une des principales cultures d'exportation du Cameroun et les données y relatives sont plus aisément disponibles. Cette section s'articule autour de deux principales étapes : (1) la présentation du modèle économétrique et de la technique d'identification ; (2) la description des données utilisées.

#### 3.1. La spécification du modèle

Dans l'optique de mettre en évidence l'influence de l'usage des techniques agricoles modernes sur la productivité, la sous-section procède en deux étapes. Dans une première étape, nous mesurons la productivité en utilisant comme indicateur la productivité globale des facteurs. Dans un second temps, nous utilisons la technique des doubles moindres carrés pour identifier l'effet de l'adoption des nouvelles techniques sur la productivité.

<sup>8</sup> [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com), consulté le 03/05/13.



### 3.1.1. Mesurer la productivité globale des facteurs

La productivité globale des facteurs (PGF) est définie comme l'accroissement relatif de la richesse qui n'est pas expliquée par l'accroissement de l'un des facteurs de production capital ou travail (Fare et al., 1994). L'approche utilisée dans le cadre de ce travail pour mesurer la PGF s'inspire des travaux de Tashkin et Zain (1997) et Petrin et al. (2004). Cette approche permet de contrôler la corrélation plausible entre les inputs et les hétérogénéités inobservables. Soit la relation linéaire suivante :

$$y_{it} = \delta_0 + \delta_l l_i + \delta_k k_i + \mu_i \quad (1)$$

Dans ce modèle,  $y$  représente la production,  $l$  le travail et  $k$  le stock de capital,  $\mu$  est le résidu de Solow qui mesure dans la fonction estimée la productivité globale des facteurs. Le modèle étant linéaire, l'estimation par les moindres carrés ordinaires est sans biais à condition que la condition d'orthogonalité soit respectée. Cependant, cette condition est rarement respectée et l'estimateur des MCO est biaisé. Pour pallier à cette limite, Petrin et al. (2004) proposent d'ajouter dans la spécification un input intermédiaire qui permet de contrôler la corrélation entre les inputs en équation et le terme d'erreur. Le modèle (1) devient :

$$y_{it} = \delta_0 + \delta_l l_i + \delta_k k_i + \delta_i i_i + w_i + \mu_i \quad (2)$$

Dans cette équation  $i$  est l'input intermédiaire et  $w$  est une mesure de l'investissement. L'input intermédiaire peut s'écrire comme suit :

$$i_i = i(w_i, k_i) \quad (3)$$

Les expressions (2) et (3) sont combinées et la productivité globale des facteurs est définie comme suit :

$$\mu_i^* = y_{it} - \beta_0 - \beta_k k_i - \beta_l l_i + E(w_i / w_{i-1}) \quad (4)$$

### 3.1.2. Estimation des effets de l'adoption des techniques agricoles modernes sur la productivité

Cette section s'inspire des travaux de Nana Djomo et Atangana Ondoa (2012) et adopte la spécification de base suivante :

$$\mu_i^* = \alpha_0 + X_i' \alpha + \gamma tech_i + \gamma_1 sexe_i + \gamma_2 tech_i * sexe_i + \varepsilon_i \quad (5)$$

Dans cette équation,  $tech$  est une variable binaire qui prend la valeur 1 si l'individu fait usage des techniques agricoles modernes et 0 sinon. Les techniques modernes renvoient principalement à l'usage des engrais et des semences améliorées. Dans le modèle on introduit une variable croisée avec le sexe. Le coefficient de cette variable permet de saisir l'impact différentiel de l'usage des techniques modernes entre hommes et femmes. À la suite de Nana Djomo et Atangana Ondoa (2012), nous retenons comme variables de contrôle, l'expérience de l'agriculteur, le niveau d'éducation, le statut marital et l'usage ou non des pesticides. L'équation (5) est dans un premier temps estimée par les moindres carrés ordinaires. Cependant, pour prendre en compte la potentielle endogénéité du choix de l'usage des techniques agricoles, nous avons recours à l'estimateur des doubles moindres carrés. La variable prédite issue d'un modèle Logit de déterminant de l'usage des techniques modernes est utilisé comme instrument. Par la suite les écarts-types sont corrigés au moyen de la méthode du Bootstrap.

## 3.2. Les données

Les données utilisées dans le cadre de cet article sont issues de la troisième enquête camerounaise auprès des ménages (ECAM III, 2007). C'est la base de données la plus récente qui permette d'apprécier les comportements de production et de consommation des ménages agriculteurs ruraux. La technique d'échantillonnage utilisée est la stratification de la région à l'individu, passant par le ménage. L'échantillon utilisé est restreint aux agriculteurs ruraux de la province du Centre du Cameroun et est constitué de 1 117 ménages.

**Tableau 1.** Statistiques descriptives.

Variable	Obs	Moyenne	Écart-type	Min	Max
Efficacité technique	526	0,6497642	0,0882026	0,3468412	0,8061002
Expérience de l'agriculteur	526	41,13118	21,90977	3	90
Sexe	526	1,087452	0,2827659	1	2
Statut marital-marié	526	0,648289	0,4779589	0	1
Usage des techniques de production modernes	526	0,1368821	0,3440501	0	1
Usage des pesticides	526	0,7490494	0,4339728	0	1
Nombre d'années d'éducation	526	7,557034	4,345066	0	19
Production (logarithme)	526	5,013336	1,641426	0	7,600903
Coût de la main-d'œuvre (logarithme)	526	2,569653	3,73062	0	11,51292
Surface cultivée (logarithme)	526	0,9796594	0,748336	0	4,060443
Coût des semences (logarithme)	526	3,105377	4,367953	0	11,51292
Valeur des engrais (logarithme)	526	2,684568	4,500207	0	11,51292
Valeur du capital (logarithme)	526	5,004709	4,187179	0	13,12235

## 4. Résultats

L'analyse des résultats de l'analyse des effets de l'usage par les femmes des techniques agricoles modernes sur leur productivité procède en deux étapes. Dans un premier temps, nous présentons des évidences issues de la statistique descriptive. Dans un second temps, nous présentons les résultats issus de l'analyse économétrique.

### 4.1. Les évidences issues de la statistique descriptive

Le tableau 2 présente l'usage des techniques agricoles modernes selon le sexe.

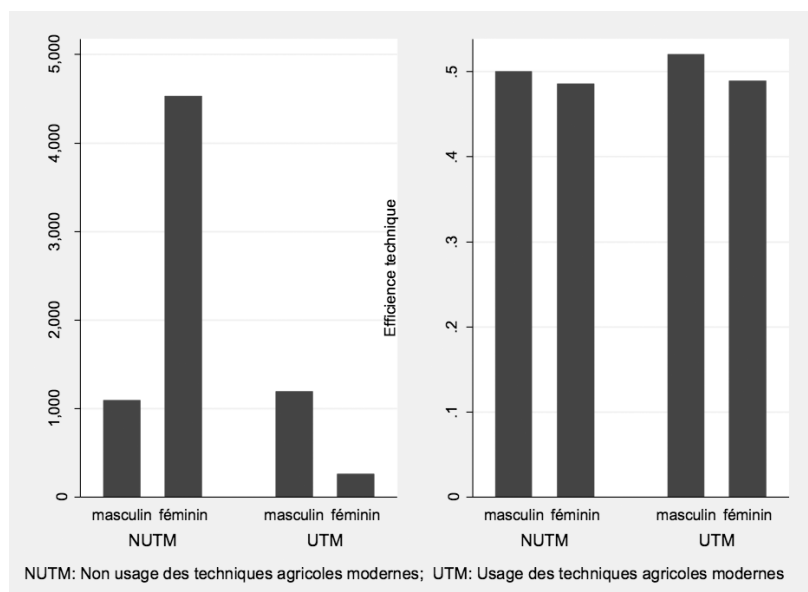
**Tableau 2.** Usage des techniques agricoles modernes selon le sexe.

	Hommes	Femmes	Total
Non-usage des techniques modernes	3 936	1 349	5 285
Usage des techniques modernes	461	183	644
Total	4 397	1 532	5 929

Source : Auteurs sur la base d'ECAM III.

Le tableau 2 permet de faire deux grands constats. Le tout premier est qu'en moyenne à peine 11 % des agriculteurs adoptent les techniques modernes. Le second constat est qu'en valeur absolue, les hommes font plus usage des techniques modernes que les femmes. Il s'agit de 461 hommes contre 183 femmes. Cependant en valeur relative, les femmes font plus usage des techniques modernes. En effet, elles sont 11 % à en faire usage contre 10,4 % pour les hommes. Ce résultat est également illustré par la figure 1.

Le premier des deux graphiques représente la production totale de cacao selon le sexe et l'usage des techniques modernes. Il révèle que parmi les agriculteurs qui n'utilisent pas les techniques modernes, le niveau de production des femmes est plus élevé que celui des hommes. Cependant, on observe la situation inverse dans le cas des agriculteurs qui utilisent les techniques modernes. En ce qui concerne l'efficacité technique, le constat général est celui d'une productivité plus élevée des hommes. Toutefois, la différence ne semble pas significative. Afin de tester de manière formelle cette différence, le tableau 3 présente les résultats du test de comparaison des moyennes.



**Figure 1.**  
Productivité selon le sexe et l'usage des techniques agricoles modernes.  
Source : Auteurs sur la base d'ECAM III.

Le tableau 3 présente des tests de comparaison des moyennes qui permettent de voir s'il existe une différence significative entre la productivité des hommes et celle des femmes en tenant compte de l'usage des techniques modernes.

**Tableau 3.** Test de comparaison des moyennes.

Groupe	Production de Cacao		Efficacité technique	
	Observations	Moyenne	Observations	Moyenne
Hommes	922	1 111,453	922	0,5020358
Femmes	106	3 927,528	106	0,4861826
<b>Différence</b>		<b>-2 816,075</b>		<b>0,0158531</b>
<b>Test de Student</b>		<b>-2,68</b>		<b>5,59</b>
Non usage des techniques modernes	861	1 457,921	861	0,4962733
Usage des techniques modernes	167	1 112,623	167	0,5112645
<b>Différence</b>		<b>345,298</b>		<b>-0,0149912</b>
<b>Test de Student</b>		<b>0,39</b>		<b>-3,75</b>

Sources : Auteurs sur la base des données d'ECAM III.

La première partie du tableau fait un test de comparaison des moyennes respectivement de la production totale de cacao et de l'efficacité technique des hommes et des femmes. Le tableau 3 révèle qu'en moyenne, la productivité des femmes est supérieure à celle des hommes, mais en termes d'efficacité technique, les hommes ont une productivité meilleure que celle des femmes. Ce dernier résultat peut s'expliquer simplement par le fait que comme le montre le tableau 2, les hommes font plus usage des techniques modernes que les femmes. La deuxième partie du tableau permet de voir s'il existe une différence statistiquement significative entre ceux qui font usage des techniques modernes et ceux qui n'en font pas usage. Cette partie du tableau montre qu'il n'existe pas de différence significative de productivité entre ceux qui font usage des techniques modernes et ceux qui n'en font pas usage.

## 4.2. Les évidences issues de l'analyse économétrique

Le tableau 4 présente les résultats de l'estimation du modèle d'efficacité technique. Les deux premières colonnes (1) et (2) présentent les estimations issues de la technique des moindres carrés ordinaires (MCO), tandis que les deux dernières colonnes (3) et (4) présentent les estimations issues de la méthode des doubles moindres carrés (2MC).

**Tableau 4.** Résultats de l'estimation du modèle d'efficacité technique.

Variable dépendante : Efficacité technique	Moindres carrés ordinaires		Doubles moindres carrés	
	(1)	(2)	(3)	(4)
Expérience	5,63e-06 (0,000168)	0,000459** (0,000190)	0,000168 (0,000176)	0,000330* (0,000180)
Sexe	-0,0495*** (0,0174)	-0,0910*** (0,00910)	-0,0449*** (0,0167)	-0,0445*** (0,0169)
Usage des techniques de production modernes	0,0543* (0,0311)	0,0848* (0,0502)	0,227* (0,121)	0,218* (0,124)
Usage des techniques de production modernes*Sexe	0,00394 (0,0243)	0,00686 (0,0452)	-0,0865 (0,116)	-0,0675 (0,119)
Statut marital-Marié	0,00673 (0,00813)	0,0100 (0,00779)	-0,00214 (0,00811)	0,00293 (0,00785)
Éducation primaire	0,0501*** (0,0117)		0,0491*** (0,0102)	
Éducation Post Primaire	-0,0297* (0,0152)		-0,0343 (0,0226)	
Secondaire général 1 <sup>er</sup> cycle	0,0107 (0,0137)		0,0245** (0,0119)	
Secondaire général 2 <sup>e</sup> cycle	0,00772 (0,0259)		0,00584 (0,0270)	
Secondaire technique 1 <sup>er</sup> cycle	-0,0367* (0,0193)		-0,0301* (0,0180)	
Secondaire technique 2 <sup>e</sup> cycle	-0,0197 (0,0444)		-0,0185 (0,0465)	
Niveau universitaire	-0,151*** (0,0252)		-0,171*** (0,0210)	
Nombre d'années d'éducation		0,00567*** (0,00219)		0,0141*** (0,00217)
Nombre d'années d'éducation au carré		-0,000719*** (0,000109)		-0,00124*** (0,000111)
Usage des pesticides	-0,0131 (0,00907)			
Constant	0,684*** (0,0315)	0,662*** (0,0229)	0,658*** (0,0282)	0,650*** (0,0286)
Observations	526	1,117	526	526
Test de Wald-Équation de première étape			78,46	60,45
R-squared	0,385	0,260	0,413	0,383

Note : Les écarts-types sont entre parenthèses. \*\*\*p<0,01 ; \*\*p<0,05 ; \*p<0,1.

Dans chacune des spécifications, la variable d'intérêt (usage des techniques modernes) est croisée avec la variable sexe, de manière à saisir l'effet différencié de l'usage des techniques modernes sur la productivité des femmes. Ainsi, si le coefficient de la variable croisée est positif et significatif, sachant que le coefficient de la variable d'intérêt est également positif et significatif, alors on peut conclure au non-rejet de l'hypothèse d'un effet amélioratif de l'usage des techniques modernes sur la productivité agricole des femmes.

En ce qui concerne la variable d'intérêt et la variable croisée, les résultats des MCO ne diffèrent pas des résultats issus de l'application de la technique des 2MC.

De manière spécifique, les résultats ne confortent pas l'hypothèse d'un effet différencié de l'usage des techniques modernes chez les femmes. Ce résultat peut s'expliquer par le fait qu'à peine 11 % des femmes adoptent les techniques de production modernes. Cependant, les estimations fournissent l'évidence d'un effet positif et significatif de l'usage des techniques modernes sur la productivité agricole. En d'autres termes, par rapport à ceux qui n'utilisent pas les techniques modernes, la productivité des usagers de ces techniques augmente d'une valeur variant entre 0,05 et 0,21 en unité logarithmique, soit une variation de production allant de 1 unité à 1,5 unité. Par ailleurs, le fait que le coefficient de la variable d'intérêt augmente lorsque l'on passe des MCO aux 2MC montre qu'en ne prenant pas en compte l'endogénéité, on sous-estime l'effet de l'usage des techniques agricoles modernes. Cependant, la magnitude de l'effet est extrêmement faible et confirme l'observation déjà faite avec le test de comparaison des moyennes. Une autre remarque qui peut être faite est que bien que la variable croisée ne soit pas significative, le coefficient positif montre bien que l'adoption des techniques modernes serait plus bénéfique pour les femmes. En effet, les résultats montrent aussi que par rapport aux hommes, la productivité des femmes est significativement plus faible. Par ailleurs, les résultats du tableau 4 montrent également que l'expérience de l'agriculteur et son niveau d'éducation sont des facteurs qui expliquent significativement la productivité.

En définitive, les résultats de l'analyse empirique suggèrent que si l'adoption des techniques agricoles modernes permet d'accroître la productivité, il n'existe pas d'effet différencié significatif entre hommes et femmes. En d'autres termes, l'adoption des techniques ne permet pas aux femmes cultivatrices de cacao du centre du Cameroun d'augmenter significativement leur productivité aussi bien de manière relative (par rapport aux hommes), que de manière absolue.

Le tableau 5 est un test de robustesse qui utilise comme mesure de l'efficacité la productivité du travail en lieu et place de la productivité globale des facteurs. Ceci pour montrer simplement que le même résultat est obtenu si on mesure l'efficacité par la productivité du travail.

## 5. Conclusion

L'objectif de cet article était de mettre en évidence l'influence de l'adoption des techniques de production modernes sur la productivité agricole des femmes rurales dans la région du centre du Cameroun.

Pour ce faire, les auteurs de cet article mobilisent des outils économétriques et statistiques appliqués sur des données issues de la troisième enquête camerounaise auprès des ménages (ECAM III) et sur le cacao comme culture retenue.

Les résultats issus de l'analyse empirique ne permettent pas de supporter l'hypothèse d'une influence significative de l'adoption des techniques de production modernes sur la productivité des femmes rurales dans la région du centre Cameroun. Cependant, les résultats fournissent l'évidence d'un effet significatif positif de l'adoption des techniques modernes sur

la productivité globale des agriculteurs. Toutefois, la magnitude de cet effet est très faible et peut trouver une explication dans le nombre assez faible d'agriculteurs qui adoptent les techniques de production modernes. Les résultats de cette étude montrent également que l'expérience de l'agriculteur et son niveau d'éducation sont des facteurs qui affectent la productivité.

**Tableau 5.** Résultats mesurant l'efficacité par le modèle de productivité du travail.

Variable dépendante : Efficacité technique	Doubles moindres carrés	
	(1)	(2)
Expérience	0,000216 (0,000227)	0,000425* (0,000231)
Sexe	-0,0578*** (0,0215)	-0,0573*** (0,0218)
Usage des techniques de production modernes	0,292* (0,156)	0,280* (0,160)
Usage des techniques de production modernes*Sexe	-0,111 (0,149)	-0,0870 (0,153)
Statut marital-Marié	-0,00276 (0,0105)	0,00378 (0,0101)
Éducation primaire	0,0633*** (0,0131)	
Éducation Post Primaire	-0,0442 (0,0292)	
Secondaire général 1 <sup>er</sup> cycle	0,0315** (0,0153)	
Secondaire général 2 <sup>e</sup> cycle	0,00752 (0,0348)	
Secondaire technique 1 <sup>er</sup> cycle	-0,0387* (0,0231)	
Secondaire technique 2 <sup>e</sup> cycle	-0,0238 (0,0599)	
Niveau universitaire	-0,221*** (0,0271)	
Nombre d'années d'éducation		0,0182*** (0,00279)
Nombre d'années d'éducation au carré		-0,00160*** (0,000143)
Constant	0,552*** (0,0364)	0,542*** (0,0369)
Observations	526	526
Test de Wald-Equation de première étape	78,46	60,45
R-squared	0,413	0,383

Note : Les écarts-types robustes sont entre parenthèses. \*\*\*p<0,01 ; \*\*p<0,05 ; \*p<0,1.

Source : Auteurs à partir des données ECAMIII 2007.

Fort de ce qui précède, les mesures de politiques économiques devraient s'orienter vers la facilitation de l'accès des agriculteurs aux techniques et outils de production modernes. Par ailleurs, vu la faible magnitude de l'effet relevé par les données, il semble que des mesures complémentaires, notamment l'encadrement des cultivateurs seraient indispensables.

Il est démontré que l'accroissement de la productivité agricole surtout dans les produits d'exportation comme le cacao permet de générer des revenus qui vont stimuler la demande des autres biens et services ruraux, créant ainsi de l'emploi et des revenus indispensables pour réduire la pauvreté et l'insécurité alimentaires dans le pays en général et en zone urbaine en particulier (FAO, 2012).

En outre les travaux de Kamajou et al. (1997) réalisés dans les régions de la forêt équatoriale du Cameroun et sur la culture du cacao montrent qu'une partie de production vivrière est déterminée par le dynamisme de l'extension des plantations de cacao ; et que tout accroissement de la productivité du cacao va entraîner une hausse de la production vivrière réagissant à l'utilisation des inputs chimiques (Kamajou et al., 1997). Selon ces mêmes auteurs, il existe une corrélation positive entre l'augmentation des plantations de cacao et l'accroissement de la production vivrière ce qui nous amène donc, à dire que tout accroissement de la productivité du cacao dans la région du centre va entraîner une amélioration des revenus des agriculteurs, réduisant la pauvreté et du même coup l'insécurité alimentaire. Tous ces résultats justifient la nécessité pour les pouvoirs publics d'investir et de faciliter l'accès aux techniques modernes agricoles pour les agriculteurs ruraux.

## Bibliographie

- Aigner A., Lovell C.A.K., Schmidt P., 1977. Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. *Journal of Econometrics*, **86**, 21-37.
- Aigner D.J., Chu S., 1968. On Estimating the Industry Production Function. *American Economic Review*, **58**, 826-839.
- Ali M., Chaudhry M.A., 1990. Inter-regional Farm Efficiency in Pakistan's Punjab: A Frontier production Function Study. *Journal of Agricultural Economics*, **41**, 62-74.
- Aly H.Y., Belbase K., Grabowski R., Kraft S., 1987. The Technical Efficiency of Illinois Grain Farms: An Application of a Ray-homothetic Production Function. *Southern Journal of Agricultural Economics*, **19**, 69-78.
- Atkinson E.S., Cornwell C., 1994. Estimation of Output and Input Technical Efficiency Using a Flexible Functional Form and Panel Data. *International Economic Review*, **35**, 245-255.
- Beitone A., Cazorla A., Dollo C., Draï A.M., 2008. *Dictionnaire des Sciences économiques*. Armand Colin, Paris.
- Berg A.N., Forsund F.R., Jansen E.S., 1992. Malmquist indices of productivity growth during the deregulation of Norwegian Banking 1980-89. *Scandinavian Journal of Economics*, **94**, 211-228.
- Berry R.A., Cline R.W., 1979. *Agrarian Structure and Productivity in Developing Countries*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- Binswanger H.P., Khandker S.R., Rosenzweig M.R., 1993. How infrastructure and financial institutions affect agricultural output and investment in India. *Journal of Development Economics*, **41**(2), 337-366.
- Bravo-Ureta B.E., 1986. Technical Efficiency Measures for Dairy Farms Based on a Probabilistic Frontier Function Model. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, **34**, 399-415.
- Carlson S., 1939. *A Study on the Pure Theory of Production*. King, London.
- CEMAC, 2004. *Stratégie Agricole Commune des États Membres de La CEMAC. Programme d'actions, exercice 2004*. Bangui, RCA, Communauté Économique et Monétaire de l'Afrique Centrale. <http://www.cemac.int/sites/default/files/documents/files/CemacPA2004.pdf>
- Chavas J.P., Petrie R., Roth M., 2005. Farm household production efficiency: Evidence from The Gambia. *American Journal of Agricultural Economics*, **87**(1), 160-179.
- Coelli T.J., Rahman S., Thirtle C., 2002. Technical, allocative, cost and scale efficiencies in Bangladesh rice cultivation: A nonparametric approach. *Journal of Agricultural Economics*, **53**(3), 607-626.
- Combemale P., Parienty A., 1994. *La productivité : analyse de la rentabilité, de l'efficacité et de la productivité*. Nathan, Paris.
- Copeland M.A., 1937. Concepts of national Income. In: *Studies in Income and Wealth, Volume 1*. The Conference on Research in Income and Wealth. Cambridge, MA, USA, National Bureau Economic Research, NBER Book Series Studies in Income and Wealth. p. 2-63.
- Dayre J., 1952. *Productivité : mesure du progrès*. Association Française pour l'Accroissement de la Productivité, Paris.
- Debreu D.G., 1951. The Coefficient of Resource Utilization. *Econometrica*, **19**, 273-292.
- De Janvry A., Nigel Key N., Sadoulet E., 2000. Transactions Costs and Agricultural Household Supply Response. *American Journal of Agricultural Economics*, **82**, 245-259.
- Deolalikar A.B., 1981. The Inverse Relationship between Productivity and Farm Size: a Test Using Regional Data from India. *American Journal of Agricultural Economics*, **63**, 275-279.
- Destais G., Gillot-Chappaz A., 2000. *La productivité revisitée*. Institut d'Économie et de Politique de l'Énergie, Université Pierre Mendès, Grenoble, France.
- Diewert E.W., 1976. Exact and Superlative Index Numbers. *Journal of Econometrics*, **4**(2), 115-445.
- ECAMIII, 2007. *Troisième Enquête Camerounaise auprès des Ménages (ECAM III)*. Institut National Statistique (INS), Yaoundé.



- Ekayanake S.A.B., Jayasuriya S.K., 1987. Measurement of Farm-specific Technical Efficiency: A Comparison of Methods. *Journal of Agricultural Economic*, **38**, 115-122.
- Faivre Dupaigne B., 2010. Évaluer la productivité de l'agriculture familiale : aiguisons nos outils de mesure... *Repères, Grain de sel*, N° 48.
- FAO, 2012. *La situation mondiale de l'alimentation et l'agriculture 2012 : investir dans l'agriculture pour un avenir meilleur*. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome.
- FAO, 2007. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2007. Payer les agriculteurs pour les services environnementaux*. FAO, Rome.
- Fare R., Shawa G., Mary M., Zhongyang Z., 1994. Productivity, Growth, Technical Progress, and Efficiency in Industrialized Countries. *American Economic Review*, **84**, 66-82.
- Farrell M.J., 1957. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, **120**(3), 253-290.
- Fourastié J., 1952. *La Productivité*. PUF, Paris. Collection Que sais-je ? N° 557.
- Fourastié J., 1957. *Productivité, prix et salaire*. Paris, O.E.C.E., 115 p.
- Friebel G., Ivaldi M., Vibes C., 2003. *Railway (De) Regulation: a European Efficiency Comparison*. IDEI report, n°3 on passenger rail transport. University of Toulouse, France.
- Gamache R., 2005. La productivité: définition et enjeux. *Research Paper Series* 117, Statistique Canada, 36 p.
- Gamblin A., 2002. *Images économiques du monde*. 46<sup>e</sup> année. SEDES, Paris.
- Gillis M. et al., 1990. *Economie du Développement*. De Boeck - Wesmael, Bruxelles.
- Greene W.H., 1980. Maximum Likelihood Estimation of Econometric Frontier Functions. *Journal of Econometrics*, **13**, 27-56.
- Greene W.H., 1993. The econometric approach to efficiency analysis. In: Fried H.O., Lovell C.A.K., Schmidt S.S. (eds). *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*. Oxford University Press, New York.
- Griliches Zvi, 1997. *R&D and the Productivity Slowdown: Is Recovery Around the Corner?* Polycopié non publié.
- Harris R.G., 1999. *Les déterminants de la croissance de la productivité canadienne : enjeux et perspectives*. Industrie Canada, Ottawa, Document de discussion n° 8.
- Hicks J.R., 1946. Annual Survey of Economic Theory: Monopoly". *Econometrica*, **13**, 1-20.
- IFPRI, 2009. *Food security under stress from price volatility, agricultural neglect, climate change, and recession*. In: IPC Spring Seminar. Salzbourg, Autriche.
- Jevons W.S., 1871. *The theory of political Economy*. Macmillan, London.
- Jondrow J., Lovell C.A., Materov I.S., Schmidt P., 1982. On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model. *Journal of Econometrics*, **19**, 233-238.
- Jorgenson D.W., 1995a. *Productivity. Volume 1: Postwar U.S. Economic Growth*. MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Jorgenson D.W., 1995b. *Productivity. Volume 2: International Comparisons of Economic Growth*. MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Jorgenson D., Griliches Z., 1967. The Explanation of Productivity Change. *Review of Economic Studies*, **34**(3), 249-283.
- Kalaizandonakes N.G., Shunxiang W., Jian-chun M., 1992. The Relationship between Technical Efficiency and Firm Size Revisited. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, **40**, 427-442.
- Kamajou F. et al., 1997. *L'impact de la politique de prix agricole sur la production des cultures vivrières et d'exportation au Cameroun : une analyse basée les systèmes d'exploitation*. Université de Dschang, Cameroun.
- Koopmans T., 1951. Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities. Activity. In: Koopmans T.C. (ed.). *Activity Analysis of Production and Allocation*, Cowles Commission for Research in Economics. Monograph n° 13. John Wiley and sons, Inc., New York.

- Malmquist S., 1953. Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de Estadística*, **4**, 209-242.
- Maudos J., Pastor J.M., Serrano L., 1998. *Human Capital in OECD Countries: Technical Change, Efficiency and Productivity*. Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas, s.a., Valencia, Spain.
- Meeusen W., Van den Broeck J., 1977. Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Function with Composed Error. *International Economic Review*, **18**, 435-444.
- MINADER/FAO, 2007. *Programme National de Sécurité Alimentaire*. Rapport du Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MINADER) et du Fonds Alimentaire des Nations Unies (FAO), Yaoundé.
- Moorsteen R.H., 1961. On the Measuring Productive Potential and Relative Efficiency. *Quarterly Journal of Economics*, **75**, 451-467.
- Nana Djomo J.M., Atangana Ondo H., 2012. Capital Social, Capital Humain et Efficacité Technique dans le secteur Agricole au Cameroun. *Revue Africaine des Sciences Économiques et de Gestion*, **19**(1-2), p. 137-160.
- Nishimizu M., Page J.M., 1982. Total Factor Productivity Growth, Technological Progress and Technical Efficiency Change: Dimensions of Productivity Change in Yugoslavia, 1956-78. *Economic Journal*, **92**, 920- 936.
- Nkamleu G.B., 2004. L'échec de la croissance de la productivité agricole en Afrique Francophone. *Économie Rurale*, **279**, 55-67.
- OCDE, 1998. *Technologie, productivité et création d'emplois. Politiques exemplaires*. OCDE, Paris.
- OCDE, 2000. *Une nouvelle économie ? Transformation du rôle de l'innovation et des technologies de l'information dans la croissance*. OCDE, Paris.
- OCDE, 2001. *Mesurer la productivité – Manuel de l'OCDE. Mesurer la croissance de la productivité par secteur et pour l'ensemble de l'économie*. <http://www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/9201122e.pdf?expires=1429100818&id=id&accname=guest&checksum=AB6FD5719DD7F35FC70E81C2933E3152>
- OCDE, 2012a. Credit Reporting System Aid Activities (CRS) data base (base de données <http://stats.oecd.org/Index.aspx?datasetcode=CRS1>). OCDE, Paris.
- OCDE, 2012b. *Perspectives de l'environnement à l'horizon 2050*. OCDE, Paris.
- Ouédraogo S., 2005. *Intensification de l'agriculture dans le Plateau Central du Burkina Faso : une analyse des possibilités à partir des nouvelles technologies*. Thèse de Doctorat. Rijksuniversiteit Groningen, The Netherlands.
- Petrin A., Poi B.P., Levinsohn J., 2004. Production Function Estimation in Stata using inputs to control for unobservables. *Stata Journal*, **4**(2), 113-123.
- Piette F., 2006. *Les déterminants de la productivité agricole dans le nord-est du Brésil : une investigation sur la relation négative entre la productivité et la taille des fermes*. Université de Montréal, Département d'économie.
- Rapsomanikis G., Vezzani A., 2012. *Lagging behind. An investigation on the dynamics of agricultural labour productivity*. ESA working paper series. FAO, Rome.
- Richmond J., 1974. Estimating Efficiency of Production. *International Economic Review*, **15**, 515-521.
- Sadoulet E., De Janvry A., 1995. *Quantitative development policy analysis*. John Hopkins University Press, Baltimore and London.
- Samuelson P.A., 1947. *Foundations of Economic Analysis*. Harvard University Press, Cambridge, MA, USA.
- Sargent T.C., Rodriguez E.R., 2000. Productivité du travail ou productivité totale des facteurs : faut-il choisir? *Observateur International de la Productivité*, **1**, 41-44.
- Shaller F., 1966. *Essai critique sur la notion de la productivité*. Librairie Droz, Genève, 96 p.
- Solow R., 1957. Technical Change and the Aggregate Production Function, *The Review of Economics and Statistics*, **39**, 312-320.

- Stigler G.J., 1947. *Trends in output and Employment*. NBER, New York.
- Tashkin F., Zain O., 1997. Catching-up and innovation in high- and low-income countries. *Economic Letters*, **54**, 93-100.
- Tauer L.W., Belbase K.P., 1987. Technical Efficiency of New York Dairy Farms. *Northeastern Journal of Agricultural and Resource Economics*, **16**, 10-16.
- Taylor T.G., Shonkwiler S., 1986. Alternative Stochastic Specifications of the Frontier Production Function in the Analysis of Agricultural Credit Programs and Technical Efficiency. *Journal of Development Economic*, **21**, 149-160.
- Thapa S., 2007. *The relationship between farm size and productivity: empirical evidence from the Nepalese mid-hills*. MPRA Paper n° 7638.
- Tinbergen J., 1942. Zur Theorie der langfristigen Wirtschaftsentwicklung. *Weltwirtschaftliches Archiv*, **55**, 1.
- Timmer C.P., 1971. Using a Probabilistic Frontier Function to Measure Technical Efficiency. *Journal of Political Economic*, **79**, 776-794.
- Wouterse F., 2010. Migration and technical efficiency in cereal production: Evidence from Burkina Faso. *Journal of Agricultural Economics*, **41**(5), 385-395.
- Wouterse F., 2011. *Social Services, Human Capital, and Technical Efficiency of Smallholders in Burkina Faso*. International Food Policy Research Institute (IFPRI), Roma. Discussion Paper 01068, 24 p.
- Zonon A., 2003. *Éducation et productivité des agriculteurs. Cas des producteurs du Burkina Faso*. UEPA, Dakar, 50 p.

## Incidence des stratégies de conservation de l'eau et des sols sur la sécurité alimentaire des ménages au nord-ouest du Bénin

Egah Janvier, Université de Parakou, Bénin, E-mail : egahjanvier@yahoo.fr ; egahjanvier@gmail.com

Baco Mohamed Nasser, Lokossou Romaric Serge, Moutouama Fidèle T., Akponikpe P.B. Irénikatché, Djenontin A. Jonas, Université de Parakou, Bénin

Tossou Rigobert, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Sokpon Nestor, Université de Parakou, Bénin

### Résumé

L'étude vise à analyser l'incidence des stratégies de conservation de l'eau et des sols sur la sécurité alimentaire des ménages du nord-ouest du Bénin. Elle a été réalisée dans les communes de Boukombé et de Ouaké. Trois villages par commune ont été étudiés. Les facteurs de dégradation, les stratégies de CES, la réserve alimentaire disponible et la fréquence de consommation alimentaire ont été collectés auprès de 180 ménages. Les facteurs de dégradation ont été analysés à l'aide d'analyse de discours et hiérarchisés à l'aide du test de Friedman. La réserve alimentaire et la fréquence de consommation ont été comparées à l'aide du test  $t$  de Student entre les ménages qui ont utilisé les stratégies exogènes et les ménages qui ont utilisé les stratégies endogènes.

La dégradation des sols est plus causée par des facteurs anthropiques (surexploitation des terres, la coupe d'arbres, feux de brousse tardifs, etc.) que naturels (forte pluie et forte pente des sols). La réserve alimentaire avant les nouvelles récoltes n'a pas été affectée par les stratégies exogènes. Mais, la fréquence de consommation alimentaire a été plus améliorée statistiquement dans les ménages qui ont utilisé les stratégies exogènes que dans les ménages qui ont utilisé les stratégies endogènes.

### Impacts of water and soil conservation strategies on food security of farm families in North West of Benin

The study aims to analyze the impact of water and soil conservation strategies on the food security of households in the North-West of Benin. It was conducted in the municipalities of Boukombé and Ouaké. Three villages have been studied. From random way, 180 households have been investigated. The causes of soil degradation, water and soil conservation strategies, the available food supply and food consumption frequency were collected. Degradation factors were analyzed using discourse analysis and prioritized using the Friedman test. Food supply and frequency of consumption were compared between households using the exogenous strategies and households using the endogenous strategies. This comparison has been using the Student  $t$  test.

Land degradation is caused by sociocultural factors (overexploitation of land, cutting trees, bush fires late, etc) and natural (heavy rain and steep land). The first three factors are respectively the exploitation of land, cutting trees and practice late bush fires in both towns. Food reserves before the new crops were not affected by exogenous strategies. But the frequency of food consumption is improved statistically between households using the exogenous strategies and households using the endogenous strategies.

## 1. Introduction

La satisfaction des besoins croissants de la population soumet les ressources naturelles de la planète à des pressions croissantes (Malthus, 1798 ; FAO, 2012). Ces pressions croissantes mettent en péril l'agriculture dont le développement est sérieusement menacé par la dégradation et la baisse de la fertilité des sols dans les pays en voie de développement en général et au Bénin en particulier (Baco et al., 2012). Bien que l'agriculture béninoise occupe près des 75 %

de la population (MAEP, 2010), elle ne s'articule pas encore autour des techniques et méthodes les plus modernes pour satisfaire pleinement les besoins de la population. Son développement tant au niveau des performances de production que de la conservation, de la transformation et de la commercialisation des produits agricoles s'en trouve limité (SCRP, 2007). Elle devient graduellement minière et provoque la dégradation quasi irréversible des terres et des écosystèmes dans la région nord-ouest du Bénin (Floquet, Mongbo, 1998). Dans cette région, les producteurs travaillent sur des terres fortement pentues (Amadji et al., 2006). La majorité des sols sont des sols ferrugineux tropicaux lessivés et caractérisés par une faible teneur en matière organique, une texture sableuse, une structure à tendance particulière (Azontondé, 1991). Les sols souffrent d'un déficit hydrique et sont exposés à l'érosion hydrique (ibid). La poussée démographique au nord-ouest du Bénin accompagnée des pressions socioéconomiques a entraîné la baisse de fertilité des sols, le raccourcissement des périodes de jachère, la surexploitation croissante des pâturages et l'extension des surfaces cultivées en faveur des cultures industrielles ou vivrières (Roose, 1989; Adégbidi et al., 1999). Les rendements des cultures et la durabilité du système de production y sont compromis. Les populations du nord-ouest sont confrontées à une insécurité alimentaire sévère estimée dans les départements de l'Atacora et de la Donga respectivement à 29% et 19% de leurs populations (Bongi et al., 2009).

La réduction de l'insécurité alimentaire de ces populations est passée par l'application de diverses stratégies de conservation de l'eau et des sols (CES) depuis des siècles pour maintenir et restaurer la fertilité des sols au nord-ouest du Bénin (Djenontin et al., 2002; Adégbola et al., 2003). Selon ces auteurs, ces stratégies de CES peuvent être endogènes ou exogènes. Les stratégies endogènes émanent du savoir paysan alors que les stratégies exogènes sont celles importées ou vulgarisées par les services de vulgarisation ou les projets de développement. L'effet des pratiques exogènes pour corriger ou améliorer les pratiques de gestion des sols est parfois négatif sur les exploitations agricoles (Djenontin et al., 2002). De ce fait, l'évaluation de l'incidence des stratégies (endogènes et exogènes) devient indispensable pour éliminer ou revoir les stratégies ayant des effets néfastes surtout sur la sécurité alimentaire des populations. On se demande alors s'il faut compter sur les stratégies exogènes pour améliorer la sécurité alimentaire des ménages. Cette étude vise à analyser les causes de dégradation des sols afin d'évaluer l'incidence des stratégies de CES diffusées par les projets sur la sécurité alimentaire des ménages au nord-ouest du Bénin.

## 2. Cadre théorique et analytique de l'étude

L'étude part de l'hypothèse que les stratégies exogènes de CES amélioreraient la sécurité alimentaire des ménages. Un ménage est en sécurité alimentaire lorsque tous ses membres ont, à tout moment, un accès physique, social et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active (Bongi et al., 2009; FAO, 2009; Bachelier, 2010). Quatre piliers caractérisent la sécurité alimentaire (Wongkaew, 2010) : i) la disponibilité physique des aliments relative à la production agricole et aux échanges commerciaux; ii) l'accès physique et économique, c'est-à-dire la capacité des individus d'acquérir les aliments; iii) l'utilisation des aliments en adéquation avec les besoins des individus et iv) la stabilité, c'est-à-dire la régularité de l'accès et l'absence de pénuries. Ces piliers ont été regroupés en deux variables mesurables : la réserve alimentaire disponible et la fréquence de consommation alimentaire. La réserve alimentaire disponible avant les nouvelles récoltes renseigne sur la disponibilité physique des aliments et l'accès physique et économique. La fréquence de consommation alimentaire (nombre de fois que les membres du ménage ont consommé par jour) traduit l'utilisation et la stabilité. L'appréciation de ces indicateurs a été basée sur le maïs car il est l'aliment qui tend à gagner toutes les populations du nord-ouest du Bénin au détriment du sorgho et du fonio. Ces indicateurs ont permis de voir si les différentes stratégies

diffusées ont permis aux ménages d'avoir le maïs disponible, accessible de façon à l'utiliser pour satisfaire en permanence leurs besoins alimentaires.

L'appréhension de l'incidence de ces stratégies exogènes a été basée sur l'approche expérimentale «avec-sans» (Da, 2008). L'approche «avec-sans» compare le groupe témoin (constitué des ménages qui utilisent uniquement les stratégies endogènes) au groupe de traitement (constitué des ménages qui utilisent les stratégies exogènes). L'approche a été utilisée pour comparer la réserve alimentaire disponible et la fréquence de consommation alimentaire entre les deux groupes de ménages (groupe témoin et groupe de traitement). Le maïs est la culture et l'aliment de référence puisqu'il est produit et consommé par tous les ménages des départements du nord-ouest du Bénin.

### 3. Matériels et méthodes

#### 3.1. Choix de la zone d'étude

La présente étude a été conduite dans les communes de Boukoubé et de Ouaké situées au Nord-ouest du Bénin. Les sols de ces deux communes sont caractérisés par une faible épaisseur, une texture légère, une forte érodibilité et un déficit hydrique (Azontondé, 1991). Le climat est de type soudano-guinéen avec une saison pluvieuse et une saison sèche dans les départements de l'Atacora et de la Donga. Les précipitations varient entre 900 et 1 000 mm.

#### 3.2. Choix des villages étudiés et des unités de recherche

Les villages étudiés à Boukoubé sont les villages de Koumagou B, de Koukoua et de Koudogoun. À Ouaké, les villages étudiés sont les villages d'Alayomdè, de Tchalahè et de Awanla. Ils ont été retenus du fait qu'ils connaissent plus de diversité des stratégies de CES dans les deux communes respectives.

Les unités de recherche ont été les ménages représentés par leur chef. Ils ont été choisis de façon aléatoire. La taille de l'échantillon est de 180 ménages à raison de 30 par village.

#### 3.3. Données collectées, outils de collecte et outils d'analyse

Les perceptions des ménages sur les causes de la dégradation des sols et de perte d'eau, la quantité de maïs récolté, le pourcentage que représente la quantité restante avant les nouvelles récoltes et les fréquences de consommation alimentaire ont été collectées à l'aide des entretiens individuels semi-structurés. Les stratégies de CES et leur origine ont été obtenues lors des *focus groups* dans chacun des villages étudiés.

La réserve alimentaire disponible (*Rad*) a été obtenue en multipliant le pourcentage que représente la quantité restante (*Pqr*) par la quantité totale (*Qt*) de maïs récolté.

$$Rad = Pqr \times Qt \text{ avec } Pqr \text{ en } \%, Qt \text{ en kg et } Rad \text{ en kg.}$$

Les perceptions des ménages sur les causes de dégradation des sols et de pertes d'eau ont été analysées à l'aide des analyses de discours. Le test de Friedman a permis de les hiérarchiser selon les dégâts causés et l'espace affecté par chaque facteur de dégradation des sols. Le choix de ces critères s'explique par le fait que le chef de ménage vise à obtenir un bon rendement de la production agricole. Ce rendement détermine en bonne partie la sécurité alimentaire puisque selon ces producteurs, une partie des produits récoltés est destinée à la consommation.

La réserve alimentaire disponible avant les nouvelles récoltes et la fréquence de consommation alimentaire ont été comparées entre les deux groupes de ménages (groupe témoin et groupe de traitement) à l'aide du test *t* de Student.

## 4. Résultats

### 4.1. Perceptions paysannes des causes de la dégradation des sols

Les causes de dégradation des sols sont perçues à travers deux types de facteurs : 1) facteurs anthropiques (surpâturage, pratique agroforestière (teck, eucalyptus, etc.), pratique culturale, surexploitation des terres, feux de brousse tardifs et déforestation) et 2) facteurs naturels (fortes pluies et pentes des sols). Les principaux facteurs causant la dégradation des sols sont la surexploitation des terres, les feux de brousse tardifs et la déforestation dans les deux communes (Tableau 1).

**Tableau 1.** Hiérarchisation des perceptions paysannes des facteurs de dégradation des sols.

Facteurs de dégradation des sols et de pertes d'eau	Ouaké		Boukombé	
	Rang moyen	Ordre	Rang moyen	Ordre
Déforestation	2,19	2 <sup>ème</sup>	3,09	2 <sup>ème</sup>
Feux de brousse tardifs	2,13	1 <sup>er</sup>	3,17	3 <sup>ème</sup>
Surexploitation des sols	4,37	3 <sup>ème</sup>	2,80	1 <sup>er</sup>
Pratique culturale	6,10	6 <sup>ème</sup>	5,34	4 <sup>ème</sup>
Pratique agroforestière	5,48	4 <sup>ème</sup>	7,10	7 <sup>ème</sup>
Surpâturage	5,60	5 <sup>ème</sup>	7,32	8 <sup>ème</sup>
Intensité des pluies	7,51	8 <sup>ème</sup>	6,12	6 <sup>ème</sup>
Pente des sols	7,16	7 <sup>ème</sup>	5,85	5 <sup>ème</sup>
Test de Friedman	Khi-deux	326,62	282,483	
	Ddl	7,00	7,00	
	P	0,000	0,000	

Source : Enquête de terrain, 2012.

Les différences notées seraient dues à la nature et au relief des sols. À Boukombé, les sols sont plus caillouteux et plus caractérisés par des pentes. À Ouaké, les sols sont plus favorables à la production. À cause de la disponibilité des terres, les producteurs pratiquent la culture itinérante sur brûlis. Ce qui justifie le fait que les feux de brousse tardifs occupent une place de choix.

### 4.2. Stratégies de conservation de l'eau et des sols (CES) et sécurité alimentaire des ménages

L'analyse de l'incidence des stratégies de CES sur la sécurité alimentaire des ménages a été axée sur la réserve de maïs avant la nouvelle récolte et sur la fréquence de consommation.

Les stratégies de CES sont appliquées aussi bien collectivement qu'individuellement. Les stratégies exogènes (banquettes et ados) sont collectives tandis que les stratégies endogènes (billons perpendiculaires à la pente, billons cloisonnés, cordons pierreux, nid d'abeille) sont individuelles. Pour des raisons déterministes liées au relief de la zone d'étude, les stratégies exogènes sont combinées aux stratégies endogènes ; mais les stratégies endogènes peuvent être utilisées à elles seules par les ménages (Tableau 2).



**Tableau 2.** Fréquence des types de ménages enquêtés.

Commune	Type de producteur	Fréquence (%)
Ouaké	Utilisateurs des stratégies endogènes	31
	Utilisateurs des stratégies exogènes	69
Boukombé	Utilisateurs des stratégies endogènes	26
	Utilisateurs des stratégies exogènes	74

Source : Enquête de terrain, 2012.

**4.2.1. Réserve alimentaire disponible avant les nouvelles récoltes**

L'analyse comparative révèle une indifférence statistique de la réserve alimentaire disponible avant les nouvelles récoltes entre les ménages qui utilisent les stratégies exogènes et les ménages qui utilisent uniquement les stratégies endogènes (Tableau 3). La combinaison des stratégies exogènes aux stratégies endogènes n'ont pas d'effet sur la réserve alimentaire disponible avant les nouvelles récoltes. Ce qui serait dû à la gestion faite du maïs récolté (consommation, vente, don, etc.) par les bénéficiaires.

**Tableau 3.** Réserve alimentaire et stratégies de conservation de l'eau et des sols.

Commune	Type de producteur	Fréquence (%)	Réserve alimentaire moyenne (kg)	Écart-type (kg)	Test <i>t</i> de Student
Ouaké	Utilisateurs des stratégies endogènes	31	199,3	254,1	tc = -1,337; ddl = 85; p = 0,185
	Utilisateurs des stratégies exogènes	69	297,3	340,0	
Boukombé	Utilisateurs des stratégies endogènes	26	144,2	1 024,1	tc = 0,384; ddl = 90; p = 0,702
	Utilisateurs des stratégies exogènes	74	363,9	823,8	

Source : Enquête de terrain, 2012.

**4.2.2. Fréquence de consommation alimentaire et stratégies de conservation de l'eau et des sols**

La fréquence de consommation alimentaire est significativement différente entre les ménages qui utilisent les stratégies exogènes et les ménages qui utilisent uniquement les stratégies endogènes à Ouaké contrairement à Boukombé (Tableau 4).

L'utilisation des stratégies exogènes de CES a amélioré la fréquence de consommation alimentaire des ménages dans la commune de Ouaké. L'indifférence observée à Boukombé serait due au fait que les populations de Boukombé associent le fonio au maïs pour la consommation alimentaire.

**Tableau 4.** Comparaison de la fréquence de consommation alimentaire.

Commune	Type de ménage	Fréquence moyenne de consommation	Écart-type	Test <i>t</i> de Student
Ouaké	Utilisateurs des stratégies endogènes	2	0,501	t = -3,367; ddl = 85; p = 0,001
	Utilisateurs des stratégies exogènes	3	0,623	
Boukombé	Utilisateurs des stratégies endogènes	3	15,910	t = 1,777; ddl = 90; p = 0,079
	Utilisateurs des stratégies exogènes	3	1,349	

Source : Enquête de terrain, 2012.

## 5. Discussion

La dégradation des sols et les pertes d'eau sont causées surtout par des facteurs anthropiques dans les deux communes du nord-ouest du Bénin. Ce qui confirme les travaux de Adegbedi et al. (1999) selon lesquels les trois principales causes de dégradation de la terre sont la déforestation, la surexploitation des terres et les feux de brousse tardifs. Les feux de brousse accélèrent la minéralisation de la matière organique présente sur le sol. Par conséquent, les feux de brousse catalysent le ruissellement et l'érosion des sols (Roose et Sabir, 2002 ; Saïdou et al., 2007). La déforestation ou la coupe d'arbres dénude les sols et les soumet à la dégradation (Saïdou et al., 2007).

La surexploitation des sols se traduit par les rotations céréales-céréales et l'association de deux céréales sur une même parcelle. Selon Roose (2002), la céréaliculture extensive exporte les grains et les pailles qui ne sont plus restituées suffisamment aux sols. Cette exportation sans restitution diminue le niveau de fertilité des sols qui deviennent progressivement pauvres (Saïdou et al., 2007).

Les ménages ont mis en place un système agroforestier qui devrait améliorer la fertilité des sols. Le système agroforestier a consisté à l'installation des plantes d'eucalyptus et de *Glyricidia* dans les champs. Selon les ménages, l'eucalyptus est une plante qui épuise les sols en eau et en élément nutritif des cultures. Le système racinaire de l'eucalyptus ne favorise pas les activités microbiennes dans le sol. L'absence des activités microbiennes a été matérialisée par l'absence des mottes de terre qui proviennent des vers de terre. Par conséquent, les pratiques agroforestières qui devraient contribuer à l'amélioration de la fertilité des sols deviennent des sources d'appauvrissement de ces sols selon les ménages enquêtés. Ces perceptions des ménages sont confirmées par Roose et Sabir (2002) qui ont souligné les effets néfastes liés à l'exploitation intensive des plantations de pins et d'eucalyptus sur le sol.

Les effets néfastes du surpâturage sur le sol sont relatifs à la réduction progressive du couvert végétal et la pression des animaux sur le sol (Roose, 2002). La destruction du couvert végétal expose le sol aux fortes pluies selon les enquêtés. Cette exposition occasionne l'encrouement et le colmatage des sols au nord-ouest du Bénin. En Tunisie, les sols sont tassés par le piétinement des animaux qui font une pression aux pattes de 2,5 à 6 kg/cm<sup>2</sup> sur le sol (Roose, 2002).

Par ailleurs, la ressource terre possède elle-même des caractéristiques combinées au climat qui la rendent plus vulnérable à l'érosion dans la région du nord-ouest du Bénin. Ces caractéristiques se révèlent à travers les facteurs naturels tels que la pente des sols et la forte intensité des pluies (Le Bissonnais et al., 2002).

La réduction des effets de la dégradation des sols sur les ménages est passée par l'utilisation des stratégies exogènes et endogènes de conservation de l'eau et des sols. Selon la classification de Mietton (1986), les stratégies endogènes sont toutes des stratégies mécaniques tandis que les stratégies exogènes sont biologiques.

Selon Parent et al. (2002), l'aménagement hydro-agricole au Maroc n'a pas amélioré significativement les apports alimentaires au sein des foyers bénéficiaires de l'irrigation par rapport aux foyers non bénéficiaires. Ce résultat est donc confirmé au nord-ouest du Bénin où les stratégies endogènes ont les mêmes effets sur le stock disponible en vivrier que les technologies importées. La réserve alimentaire de maïs disponible avant les nouvelles récoltes n'a pas varié entre les ménages qui ont utilisé uniquement les stratégies endogènes et les ménages qui ont utilisé les stratégies exogènes de CES. Les techniques antiérosives exogènes n'ont pas amélioré la réserve alimentaire de maïs dans les ménages avant les nouvelles récoltes. Elles peuvent donc être considérées comme peu efficaces (Roose, 1989). Il importe donc de considérer les stratégies endogènes existantes dans une perspective de les améliorer.

Néanmoins, la fréquence de consommation alimentaire est significativement plus améliorée dans les ménages qui ont utilisé les stratégies exogènes que dans les ménages qui ont utilisé les stratégies endogènes à Ouaké. Les stratégies exogènes ont amélioré la sécurité alimentaire des ménages à travers la fréquence de consommation alimentaire. Les stratégies de CES n'ont pas été orientées dans le sens d'enrayer les facteurs anthropiques qui sont plus à l'origine de la dégradation des sols. Les stratégies de CES ont été conçues pour atténuer les effets néfastes des facteurs naturels (forte pente et forte intensité des pluies) sur les sols.

## 6. Conclusion

La dégradation des sols est plus causée par des facteurs anthropiques que par les facteurs naturels. Mais, les exploitants agricoles ont mis en œuvre différentes stratégies de CES pour réduire leur vulnérabilité face à la dégradation des sols. Les stratégies exogènes qui sont des réalisations collectives pour des entretiens individuels ont amélioré la fréquence de consommation alimentaire des ménages à Ouaké contrairement aux ménages de Boukombé. Les différentes stratégies de CES visent la lutte contre les facteurs naturels. De ce fait, des réflexions doivent être menées pour proposer des innovations pouvant enrayer les effets néfastes des facteurs anthropiques.

## Remerciements

Nous remercions le CRDI et l'ACDI pour avoir financé cette recherche à travers le projet INuWaM exécuté par la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou (Bénin).

## Bibliographie

- Adegbidi A., Gandonou B.E., Mulder I., 1999. Farmer's perceptions and sustainable land use in the Atacora, Bénin. *CREED Working Paper*, **22**, 1- 45.
- Adégbola P.Y., Houssou N., Singbo A.G., 2003. *Typologie des exploitations agricoles et gestion de la fertilité des sols au Sud du Bénin*. Tome 1. Programme Analyse de la Politique Agricole, Bénin, 67 p.
- Amadji F., Adjé I.T., 2006. *Suivi-Appui-Conseil technique aux agriculteurs des Communes de Bassila, Djougou, Péhunco, Ouaké, Copargo, Tanguiéta et Boukombé encadrés par le ProCGRN en matière de restauration de la fertilité des sols à base de légumineuses herbacées et arbustives*. Rapport de mission ; Programme de Conservation et de Gestion des Ressources Naturelles, 20.
- Azontondé H.A., 1991. Propriétés physiques et hydrauliques des sols au Bénin. *Soil Water Balance in the Sudano-Sahelian Zone (Proceedings of the Niamey Workshop)*. IAHS, 199.
- Bachelier B., 2010. *Sécurité alimentaire : un enjeu global*. La Fondation pour l'innovation politique (fondapol), Paris, 32.
- Baco M.N., Akponikpè P.I., Sokpon N., Fatondji D., 2012. Promouvoir les agricultures fragiles par la gestion intégrée des eaux et sols dans les agrosystèmes du nord Bénin. In : Woomer P.L. (Ed.). *Integrated Soil Fertility Management in Africa: from Microbes to Markets; Conference Information, Program and Abstracts. An international conference held in Nairobi, Kenya, 22-26 October 2012*. CIAT, 122.
- Bongi S., Obama G., Le Dain A.S., Cossi A., 2009. *Analyse Globale de la Vulnérabilité de Sécurité Alimentaire et de la Nutrition (AGVSAN)*. PAM-Bénin, 168.
- Da D.C.E., 2008. Impact des techniques de conservation des eaux et des sols sur le rendement du sorgho au centre-nord du Burkina Faso. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, **241-242**, 99-110.
- Djenontin A.J., Wennink B., Dagbenongbakin G., Ouinkoun G., 2002. Pratiques de gestion de fertilité dans les exploitations agricoles du Nord-Bénin. In : *Actes du colloque, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun*, 9.

- FAO, 2009. *L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde : Crise économique, répercussions et enseignements*. FAO, Rome.
- FAO, 2012. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture : Investir dans l'agriculture pour un avenir meilleur*. FAO, Rome.
- Floquet A., Mongbo R.L., 1998. *Les paysans en mal d'alternatives. Dégradation des terres, restructuration de l'espace agraire et urbanisation au bas Bénin*. Margraf, Gaimersheim, 189.
- Le Bissonnais Y., Thorette J., Bardet C., Daroussin J., 2002. *L'érosion hydrique des sols en France*. INRA/IFEN, Orléans, France, 106.
- MAEP, 2010. *Rapport annuel d'activités*. Cotonou, 106.
- Malthus R.T., 1798. *An Essay on the Principle of Population*. J. Johnson, London.
- Mietton M., 1986. Méthodes et efficacité de la lutte contre l'érosion hydrique au Burkina-Faso. *Cahiers ORSTOM. Sér. Pedol.*, **12**(2), 181-196.
- Parent G., Poda J.N., Zagré N.M., de Plaen R., Courade G., 2002. Irrigation, santé et sécurité alimentaire en Afrique : quels liens? *Cahiers Agricultures*, **11**, 9-15.
- Roose E., 1989. *Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens de l'Afrique Occidentale. Proceedings of an International Workshop, 7-11 Jan 1987. ICRISAT Sahelian Center, Niamey, Niger*. ICRISAT, Patancheru, India, 18.
- Roose E., 2002. Banquettes mécaniques et techniques traditionnelles de GCES pour la zone méditerranéenne semi-aride de Tunisie. *Bulletin du Réseau Érosion*, **2**, 130-154.
- Roose E., Sabir M., 2002. Stratégies traditionnelles de conservation de l'eau et des sols dans le bassin méditerranéen : classification en vue d'un usage renouvelé. *Bulletin du Réseau Érosion*, **31**, 33-44.
- Saïdou A. et al., 2007. Sécurité foncière et gestion de la fertilité des sols : études de cas au Ghana et au Bénin. *Cahiers Agricultures*, **16**(5), 405-412.
- SCRP, 2007. *Stratégies de Croissance pour la Réduction de la Pauvreté*. SCRП, Gouvernement du Bénin, Cotonou, 117.
- Wongkaew T., 2010. *L'accord sur l'agriculture et la sécurité alimentaire durable*. Sous la direction de M. le Professeur C. Leben. Université Panthéon-Assas, Paris.

## Quelles stratégies pour améliorer l'intégration agriculture-élevage dans des exploitations de savane ouest-africaine ? Approches par simulation avec les producteurs

Sempore Aristide, CIRDES, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso ; IDR Burkina Faso,  
E-mail : semporearistide@yahoo.fr  
Andrieu Nadine, Cirad, Montpellier, France, E-mail : nadine.andrieu@cirad.fr  
Le Gal Pierre-Yves, Cirad, Montpellier, France  
Nacro Hassan B., IDR, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso  
Sedogo Michel P., INERA, Ouagadougou, Burkina Faso

### Résumé

En Afrique sub-saharienne, les principales contraintes à la production agricole et pastorale sont liées à la dégradation des ressources naturelles et à l'inadaptation de certains systèmes de production. Pour y remédier, l'intégration entre systèmes de culture et d'élevage dans les exploitations mixtes dominantes dans cette zone apparaît depuis plusieurs décades comme l'alternative à privilégier pour améliorer durablement leur productivité. Cette étude vise à analyser, par voie de simulation sur des exploitations réelles, les intérêts et limites des stratégies d'intégration agriculture-élevage. L'étude s'est déroulée dans la zone ouest du Burkina Faso avec 6 producteurs relevant de trois types : agriculteurs, agro-éleveurs et éleveurs. Ils ont participé à une démarche de co-conception de stratégies alternatives assistée par simulation numérique. Les résultats confirment le faible niveau d'intégration des systèmes de culture et d'élevage au sein des exploitations des agriculteurs et agro-éleveurs. Bien que les changements simulés soient difficilement réalisables sur le court terme, leur mise en œuvre permet d'améliorer de 11 à 90 % les doses d'apports de fumure organique sur le maïs qui influencent positivement les bilans céréaliers et de 50 % l'utilisation de la biomasse par le troupeau. Toutefois ces changements restent limités pour améliorer durablement la productivité agricole car chez les agriculteurs et agro-éleveurs, la part de la superficie totale fertilisée est inférieure à 20 %. Dans ce contexte, l'intégration agriculture-élevage ne permet donc pas d'augmenter de façon significative la productivité des exploitations, et devrait être combinée à l'utilisation d'engrais minéraux.

### What strategies to improve crop-livestock integration on farms on the savannas of West Africa? Simulation approaches with farmers

In sub-saharan Africa, the main constraints on crop and livestock production are related to the degradation of natural resources and the inability of certain production systems to adapt. For several decades, the integration of crop and livestock systems on the mixed farms which are common in this area has appeared to be a suitable option to sustainably improve their productivity. This study aims to analyze, using simulations on actual farms, the advantages and disadvantages of crop-livestock integration strategies. The study was conducted in western Burkina Faso with six farmers who fall into three types: crop farmers, crop-livestock farmers, and livestock farmers. They participated in the co-construction of alternative strategies assisted by computer simulations. The results confirm the low level of integration of crop and livestock systems on the crop and crop-livestock farms. While the simulated changes are difficult to realize over the short term, their implementation would allow an 11 to 90% improvement in the doses of organic fertilizer applications on maize, which has a positive influence on cereal balances, and a 50% improvement in the use of biomass by herds. Nonetheless, the capacity of these changes to sustainably improve agricultural productivity remains limited because less than 20% of fields are fertilized on the crop and crop-livestock farms. In this context, crop-livestock integration thus does not allow a significant increase in farm productivity, and should be combined with the use of mineral fertilizer.

## 1. Introduction

L'augmentation de la population est l'un des plus grands défis posé à l'agriculture en Afrique sub-saharienne (Pretty et al., 2011). Elle se traduit par une augmentation de la demande en produits agricoles et alimentaires et par une pression accrue sur les ressources naturelles. De ce fait, les producteurs doivent concevoir des stratégies innovantes pour augmenter la production agro-pastorale tout en gérant durablement les ressources naturelles (Zingore et al., 2007; Reij, Smaling, 2008). On note ainsi la prédominance d'exploitations mixtes de polyculture-élevage (Herrero et al., 2010), dans lesquelles 10 % ou plus de la matière sèche donnée au bétail provient des sous-produits des cultures (Sere, Steinfeld, 1996). Ces exploitations recouvrent des situations variées, depuis des cultivateurs ayant introduit l'élevage comme source d'énergie animale (Gautier et al., 2005), jusqu'à des pasteurs sédentarisés ayant développé les cultures pour couvrir leurs besoins alimentaires (Vall et al., 2003; Schlecht, Buerkert, 2004). Dans tous les cas, la combinaison des productions végétales et animales permet une diversification des revenus de l'exploitation.

L'intégration agriculture-élevage constitue une alternative pour améliorer durablement la productivité de ces exploitations, en jouant sur les flux entre les deux composantes (Smith et al., 1997; Lhoste, 2007). Ces flux incluent (1) le transfert de l'énergie développée par les animaux de trait vers les systèmes de culture et d'élevage via la culture attelée et le transport des intrants, les produits agricoles et les fourrages (Jansen 1993; Vall et al., 2006); (2) le transfert des fourrages provenant en partie des résidus de cultures stockés et marginalement des cultures fourragères (Petersen et al., 2007; Jera, Ajayi, 2008); (3) le transfert de la fumure organique produite par les animaux et le recyclage des résidus de culture pour le maintien et l'amélioration de la fertilité des sols (Giller et al., 2006; Basu, Scholten, 2012). L'autonomie et la viabilité des exploitations, et par là leur revenu, s'en trouvent potentiellement améliorés (Powell et al., 2004).

De nombreux travaux montrent que le niveau d'intégration entre agriculture et élevage est perfectible dans les exploitations agricoles d'Afrique sub-saharienne (Herrero et al., 2010; Pretty et al., 2011). En Afrique de l'Ouest, la traction animale est la plus répandue des composantes de cette intégration, où elle a surtout permis l'extension des surfaces cultivées au détriment d'une intensification durable des systèmes de production (Dugué, Dongmo, Ngoutso, 2004). Les transferts de fourrages et de fumure organique se développent plus lentement (Ouédraogo et al., 2001) bien qu'ils permettent une amélioration durable de la production agropastorale (Petersen et al., 2007; Bationo et al., 2007). De nombreuses études décrivent les stratégies d'intégration agriculture-élevage mises en œuvre par les producteurs (Manlay et al., 2004; Hilimire, 2011; Pretty et al., 2011; Basu, Scholten, 2012), ou font des propositions de stratégies alternatives basées sur une meilleure valorisation des sous-produits de l'agriculture et de l'élevage (Tittonell et al., 2009). Mais peu de travaux sont consacrés à l'analyse, du point de vue des producteurs, de la mise en œuvre de ces stratégies alternatives.

Cette communication vise à évaluer avec les producteurs et par voie de simulation, l'efficacité de leurs stratégies actuelles et des stratégies alternatives d'intégration agriculture-élevage.

## 2. Matériels et méthode

### 2.1. La zone d'étude

L'étude a été menée dans le village de Koumbia situé en zone cotonnière ouest du Burkina Faso (latitude 12° 42' et longitude 4° 24'), comprise entre les isohyètes 800 et 1 000 mm par an. Le climat de cette zone se caractérise par une saison des pluies qui va de mai à octobre,

une saison sèche froide (octobre-février) et une saison sèche chaude (mars-avril). Les sols rencontrés dans la zone sont en majorité de type ferrugineux tropical lessivé et peu lessivé, avec par endroit des sols bruns eutrophes et des sols hydromorphes (Boulet, Leprun, 1969; Bunasols, 1985). Ces sols sont caractérisés par leurs teneurs très faibles en carbone, phosphore et azote (Lompo et al., 2007) et leur structure fragile.

La pression anthropique sur les ressources agro-sylvo-pastorales de cette zone est élevée, avec une densité de la population de 66 habitants/km<sup>2</sup>. L'emprise agricole a été estimée à 53 % de la surface du territoire et la charge actuelle en bétail (0,48 ha/UBT/an) est légèrement supérieure à la capacité moyenne de charge (0,40 ha/UBT/an) (Vall, Diallo, 2009). Cette pression anthropique entraîne une compétition sur les espaces agro-sylvo-pastoraux villageois occasionnant des conflits fréquents entre les différents acteurs qui les utilisent (Vall et al., 2006). Trois principaux types de producteurs ont été identifiés dans cette zone : les agriculteurs avec traction animale, cultivant du coton et des céréales destinées à l'autoconsommation et à la vente (78 % des producteurs), les éleveurs peulhs (10 %) semi-sédentarisés pratiquant l'élevage transhumant des bovins et une agriculture d'autosubsistance, les agro-éleveurs (12 %) disposant d'une main-d'œuvre familiale importante pour cultiver de grandes surfaces, ayant constitué un noyau d'élevage grâce aux revenus du coton et développé la forme d'intégration agriculture-élevage la plus aboutie (Vall et al., 2006).

## 2.2. Choix des producteurs et informations collectées

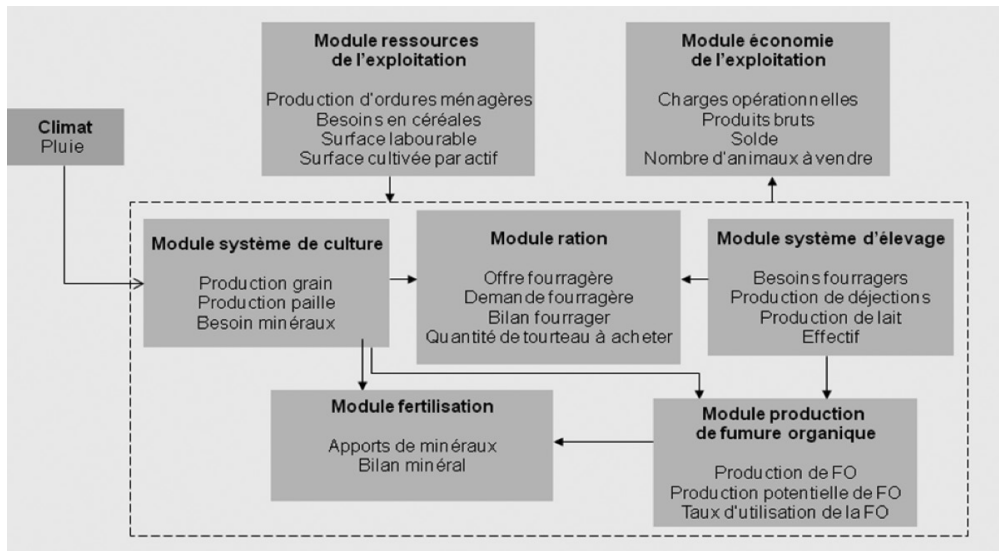
Six exploitations représentatives des trois types de producteurs identifiés par Vall et al. (2006) ont été choisies dans cet échantillon sur la base de leur disponibilité et intérêt, pour participer à une démarche de co-conception de stratégies alternatives d'intégration agriculture-élevage assistée par simulation numérique. Une approche par étude de cas a été adoptée pour sa pertinence dans ce type de recherche (Muchagata, Brown, 2003; Hostiou, Dedieu, 2009; Bernard et al., 2011). Différents scénarios ont été conçus et discutés lors d'entretiens individuels avec les producteurs avant la campagne agricole de 2012, et leurs pratiques ont été suivies durant cette campagne. La nature des changements opérés suite aux simulations a ainsi pu être analysée.

## 2.3. L'outil de simulation utilisé

La recherche a développé de nombreux outils de simulation permettant d'analyser différents systèmes de polyculture-élevage innovants (Sterk et al., 2006; van Wijk et al., 2009). Mais ces outils sont souvent exigeants en données de base et trop complexes pour être utilisables dans des recherches visant à interagir avec les acteurs (Keating, McCown, 2001). L'outil de simulation utilisé dans cette étude a été construit avec les producteurs et techniciens de ce village et développé sous tableur (Andrieu et al., 2012). Il s'agit d'un modèle *ad hoc* (Affholder et al., 2012) simulant le fonctionnement technico-économique d'une exploitation à l'échelle d'une année divisée en trois saisons : la saison des pluies, la saison sèche froide et la saison sèche chaude. L'outil comporte sept modules représentant les interactions entre systèmes de culture et d'élevage au sein des exploitations (Figure 1) : ressources de l'exploitation, système d'élevage, système de culture, système fourrager, production de fumure organique, fertilisation et économie de l'exploitation. Cinq cultures sont prises en compte vu leur importance dans la zone d'étude : le coton, le maïs, le sorgho, le niébé et le niébé fourrager (ou *Mucuna deeringiana*).

L'outil calcule, pour une configuration donnée d'une exploitation, une série de bilans entre offres et demandes en ressources, ainsi que les résultats économiques des activités agro-pastorales. Ces calculs sont réalisés pour trois types d'années climatiques (favorable, moyenne





**Figure 1.** Modèle conceptuel : Cikada (Andrieu et al., 2012). Chaque case correspond à un module, son nom est précisé en haut de la case en gras, ses principales sorties en petits caractères.

et défavorable) en fonction de l'abondance et de la répartition des pluies dans l'espace et dans le temps. Sur la base des déclarations des producteurs, le bilan céréalier est calculé en faisant la différence entre l'offre et la demande en céréales, compte tenu de la taille de la famille. L'offre en céréales est fonction des superficies emblavées en sorgho et en maïs que multiplie le rendement de ces cultures. L'outil ne comportant pas de relations mécanistes entre le climat, la fertilisation appliquée et le rendement obtenu, l'utilisateur doit saisir une combinaison (année climatique, fertilisation, rendement) jugée réaliste sur la base des connaissances expertes (agriculteurs, techniciens, chercheurs) et de certaines références bibliographiques comme celle de Traore et al. (2007).

Le bilan fourrager fait la différence entre l'offre en pailles et en fourrages cultivés issus de l'exploitation et stockés, compte tenu de la capacité de stockage de résidus au sein de l'exploitation, et les besoins fourragers des animaux que le producteur souhaite affourager en saison sèche chaude, période la plus critique pour l'alimentation des animaux. Cinq lots sont considérés : les bœufs de trait, bovins d'élevage, vaches laitières, bœufs d'embouche, petits ruminants. Le producteur a la possibilité de choisir au sein de chacun des lots le nombre exact d'animaux affouragés. Un bilan fourrager déficitaire est compensé par des achats de tourteaux.

Le bilan minéral prend en compte les apports d'engrais minéraux (NPK, urée) déclarés en entrée, et l'apport de fumure organique. Cet apport est fonction de la production de fumure calculée par le modèle à partir des déjections produites par les animaux, des refus des stocks fourragers et des ordures ménagères de la famille dans le cas du fumier. Le revenu est calculé en faisant la différence entre les productions végétales et animales vendues et les coûts estimés de main-d'œuvre, les achats d'animaux, les frais vétérinaires, de sel et d'autres intrants. Les céréales vendues tiennent compte des quantités autoconsommées par les membres de l'exploitation. Le coton vendu correspond à la production calculée par le modèle. Les ventes d'animaux et l'ensemble des dépenses sont déclarées par le producteur en entrée.

## 2.4. La démarche d'interactions avec les producteurs

L'interaction individuelle entre producteur et chercheur est basée sur la méthode d'analyse de scénarios (Bood, Postma, 1997). Chaque scénario représente un futur possible pour l'exploitation, caractérisé par une configuration donnée de ses ressources et de ses activités. Deux types de scénarios sont co-construits successivement avec chaque producteur : (1) un scénario représentant la situation actuelle de l'exploitation en matière d'intégration agriculture-élevage ( $S_0$ ), puis (2) un scénario projet ( $S_i$ ) basé sur l'analyse de  $S_0$ , visant à améliorer durablement la productivité de l'exploitation.  $S_0$  permet au producteur de s'approprier la démarche et d'évaluer la qualité de la représentation qui est faite de son exploitation, et au chercheur de calibrer certaines variables mal connues du producteur (prix des intrants et produits agro-pastoraux).  $S_i$  est évalué en comparant ses sorties avec celles de  $S_0$ , notamment en termes d'intégration agriculture-élevage mesurée à travers le bilan fourrager et la quantité de fumure organique apportés par hectare.  $S_i$  est ensuite évalué en fonction de la faisabilité des changements qu'il implique, eux-mêmes classés en trois types : structurel lorsque des éléments de structure de l'exploitation sont modifiés ; stratégique lorsque les modifications concernent les activités productives de l'exploitation ; tactique pour les changements de conduite des ateliers de production (Bradshaw et al., 2004).

La démarche a été évaluée avec chaque producteur selon deux procédures. Les changements tactiques discutés ont été comparés aux pratiques effectives lors de la campagne agricole suivante sur la base des suivis des activités agricoles. Les changements structurels et stratégiques non directement implémentés durant la période d'interaction ont fait l'objet d'une évaluation par le producteur.

## 3. Résultats

### 3.1. Situation initiale de chaque exploitation ( $S_0$ )

Les caractéristiques initiales de chaque exploitation (scénario  $S_0$ ) sont présentées dans le tableau 1.

Chez les agriculteurs, la capacité de stockage de la fumure organique sous forme d'ordure ménagère et/ou de fumier, de l'ordre de 800 et 1 000 kg par hectare de maïs cultivé, ne permet pas d'apporter une fumure organique conforme à la dose de 2 000 kg/ha/an recommandée par les structures de développement (Figure 2a). De 8 à 15 % seulement de la surface totale cultivée pourrait recevoir cette dose (Figure 2b). Ces exploitations rencontrent des problèmes de baisse de rendements des cultures depuis plus de 10 ans pour A1 et plus de 5 ans pour A2, se traduisant par une faible couverture des besoins céréaliers de la famille si l'année est défavorable et un revenu négatif (Figures 4c et Figure 5c). Le bilan fourrager de A2 est excédentaire quel que soit le type d'année climatique mais est déficitaire chez A1 en année climatique favorable et moyenne où seule la paille de maïs est utilisée. En effet, lorsque l'année climatique est défavorable, la proportion des fanes de niébé, riches en azote, augmente dans les stocks fourragers du fait d'une diminution de la proportion des tiges de céréales, plus sensibles à la baisse de la pluviométrie.

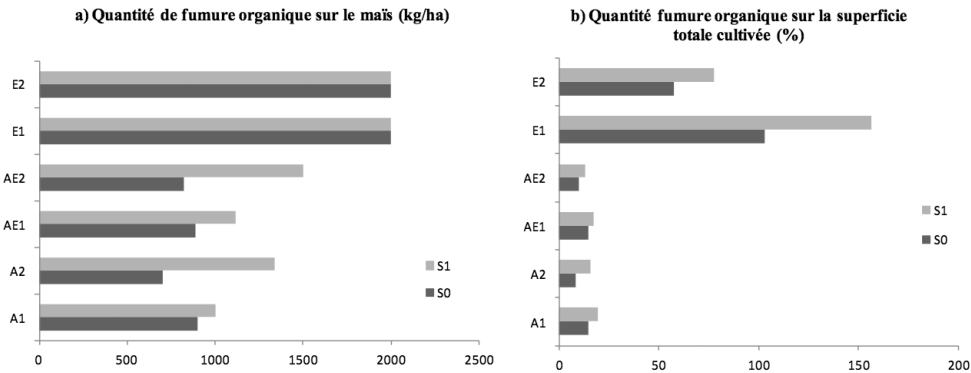
Chez les agro-éleveurs, AE1 a une grande capacité de stockage de la fumure organique (4 000 kg de fumure organique par ha de maïs cultivé). Mais sa faible capacité de stockage du fourrage (150 kg/UBT) l'amène à n'alimenter que les bœufs de trait, ce qui limite les quantités de litière et de déjections animales recueillies et par conséquent, la production de fumure organique (Figures 2a et 2b). Cela se traduit par une baisse de rendement des cultures et un déficit céréalier en cas d'année défavorable (Figure 4c). Le producteur AE2 rencontre également des problèmes de baisse de rendement des cultures depuis plus de 10 ans due aux

faibles apports de la fumure organique (825 kg/ha sur maïs) liés davantage à sa faible capacité de stockage de la fumure se traduisant par un déficit céréalier et fourrager en cas d'année défavorable (Figures 2a et 4c).

**Tableau 1.** Caractéristiques du scénario S0 pour les six exploitation.

Exploitation	A1	A2	AE1	AE2	E1	E2	
Nombre d'actifs	8	4	45	11	5	4	
Capacité stockage du fourrage (kg)	1 500	450	2 250	2 250	1 650	7 800	
Capacité stockage de la fumure organique (kg)	2 000	1 500	60 000	3 300	1 500	4 500	
Surface de coton (ha)	0	0	25	7	0	0	
Surface de maïs (ha)	2,5	1,5	15	4	3	2,25	
Surface de sorgho (ha)	2,5	0,75	3	0,5	0	1	
Surface légumineuses (ha)	1	0,25	0,5	0,5	0	0,25	
Surface culture fourragère (ha)	0	0	0	0,5	0	0,25	
Proportion résidus de céréales récoltés (%)	13	13	13	13	13	25	
Proportion résidus légumineuses récoltés (%)	100	0	0	100	0	100	
Stock fumure organique par ha de maïs (kg/ha)	800	1 000	4 000	825	500	2 000	
Nombre de bovins de trait	2	2	7	6	4	2	
Nombre de bovins d'élevage	0	0	15	2	25	25	
Nombre de petits ruminants	10	5	8	2	5	6	
Stock de fourrage par UBT (kg/UBT)	441	155	152	250	111	520	
Devenir des déjections BT	SP/SSF/SSC	FFF	PNN	FPF	FFF	PPP	FPP
Devenir des déjections BE	SP/SSF/SSC	NNN	NNN	PPF	FFF	NPP	FPP
Devenir des déjections Bemb	SP/SSF/SSC	NNN	NNN	NNN	NNN	NNN	NNF
Achat de bœufs d'embouche	0	0	0	0	0	2	
Vente de bœufs d'élevage	0	0	0	0	2	2	
Vente de petits ruminants	0	0	0	0	2	2	
Vente de bœufs d'embouche	0	0	0	0	0	2	
Nombre de BT/BE/Bemb rationné en SSC	2/0/0	2/0/0	7/0/0	6/2/0	4/0/0	2/0/2	
Dose NPK sur maïs (kg/ha)	100	100	100	100	50	0	
Dose Urée sur maïs (kg/ha)	50	50	50	50	0	0	

SP : saison pluvieuse; SSF : saison sèche froide; SSC : saison sèche chaude; P : Parc; F : fosse; N : Néant; UBT : Unité Bovin Tropical; BT : bovins de trait; BE : bovins d'élevage; Bemb : bovins d'embouche.



**Figure 2.** Différence de quantité de fumure organique entre les scénarios S<sub>0</sub> et S<sub>1</sub>.

Chez les éleveurs, seule une faible partie de leur troupeau est alimentée en saison chaude à partir de leurs stocks fourragers ; ils sont donc fortement dépendants du disponible fourrager à l'échelle du village. Ils peuvent néanmoins produire suffisamment de fumure organique pour couvrir les besoins de leurs cultures compte tenu de leurs faibles surfaces (Figure 2a). E2 a mis en place un atelier d'embouche de 2 à 3 bovins depuis plus de 5 ans pour diversifier ses sources de revenu. Cette activité lui a permis d'améliorer son revenu par actif comparativement à l'éleveur E1, mais elle nécessite plus de stocks fourragers et malgré sa grande capacité de stockage des résidus et la production de fourrages cultivés, son bilan fourrager est déficitaire en année défavorable (Figure 3c).

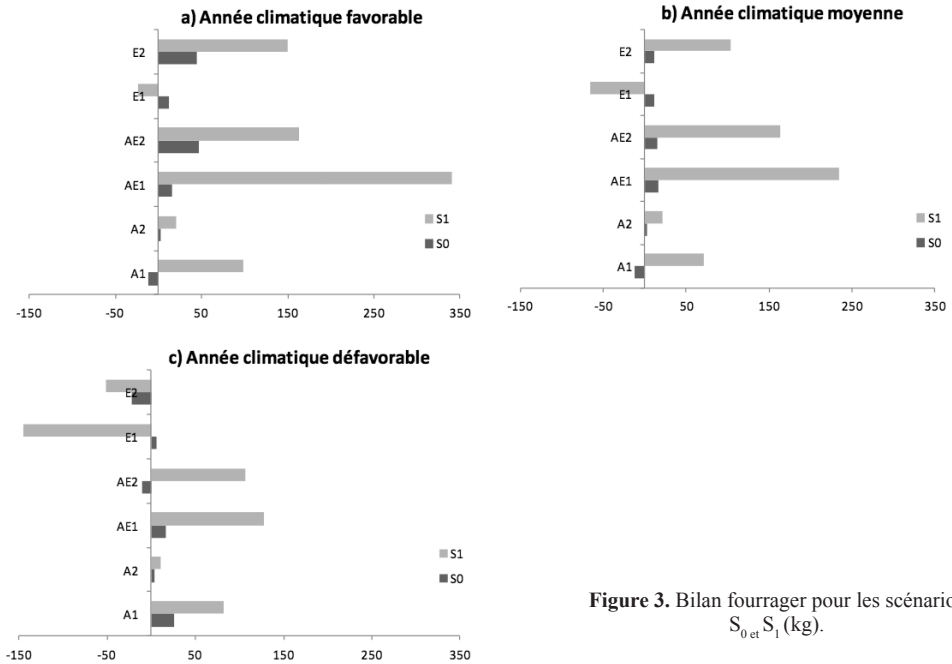


Figure 3. Bilan fourrager pour les scénarios  $S_0$  et  $S_1$  (kg).

### 3.2. Co-construction des scénarios projets avec les producteurs ( $S_1$ )

Les scénarios projets co-construits avec les producteurs visent à répondre aux difficultés diagnostiquées à travers la simulation de  $S_0$ . Les agriculteurs et agro-éleveurs visent ainsi à augmenter la production de fumure organique. Cependant, les pistes envisagées diffèrent d'un producteur à l'autre (Tableaux 2 et 3). A1 compte passer par des achats extérieurs de fumure, et une augmentation des quantités de fumure produites sur l'exploitation et stockées. Pour ce faire, le producteur envisage de construire une fosse fumièr, d'augmenter les capacités de stockage de fourrage et de ramasser plus de paille pour augmenter le temps de présence des animaux en stabulation et les effectifs de bœufs de trait qui permettront également d'améliorer les capacités de travail. A2 et AE1, qui disposent d'un nombre plus élevé d'animaux et de capacités de stockage de fumure par hectare de maïs supérieures, souhaitent essentiellement augmenter le temps de présence des animaux en stabulation en augmentant leurs capacités de stockage fourrager. AE1 envisage en outre l'introduction de *Mucuna deeringiana* à la fois pour son rôle sur la fertilité du sol, et pour alimenter les animaux d'un nouvel atelier d'embouche. À surface cultivée égale, cela implique alors de diminuer sa surface en coton. AE2 compte augmenter la production de fumure organique par la production de compost, le parage des animaux directement sur les parcelles, et l'augmentation de la capacité de stockage de fourrage en combinaison avec la production de *Mucuna deeringiana* pour augmenter son offre fourragère.

**Tableau 2.** Variation des valeurs des entrées entre  $S_0$  et  $S_1$  pour les 6 exploitations.

Exploitations	A1	A2	AE1	AE2	E1	E2
Capacité stockage du fourrage (%)	+100	+567	+300	+80	+355	+35
Capacité stockage de la fumure organique (%)	+50	+200	0	+36	0	0
Surface de coton (%)	0	0	-32	-21	0	0
Surface de maïs (%)	+20	0	-7	-25	-50	-11
Surface de sorgho (%)	-40	0	0	0	0	-50
Surface de légumineuse (ha)	0	0	0	0	+0,75	+0,75
Surface de culture fourragère (ha)	+0,5	0	+2	+1	+0,75	+1,25
Proportion résidus de céréales récoltés (%)	+25	+38	+13	+25	+25	+50
Proportion résidus légumineuses récoltés (%)	+100	0	+100	+100	+100	+100
Stock fumure organique par ha de maïs (%)	+25	+200	+7,2	+82	+50	+13
Nombre de bovins d'embouche	0	0	15	2	22	20
Stock de fourrage par UBT (kg/UBT)	880	1 049	246	450	328	553
Devenir des déjections BT	SP/SSF/SSC	Id	Id	Id	Id	PSP
Devenir des déjections BE	SP/SSF/SSC	Id	NSN	Id	Id	PSP
Devenir des déjections Bemb	SP/SSF/SSC	Id	Id	NNP	Id	NNS
Achat de petits ruminants	+4	0	0	0	0	0
Achat de bovins d'embouche	0	0	+3	0	0	0
Vente de bovins d'élevage	0	0	0	0	+1	2
Vente de petits ruminants	+4	+2	0	0	0	0
Vente de bovins d'embouche	0	0	+3	0	+2	0
Nombre de BT/BE/Bemb rationné en SSC	0/0/0	0/0/0	0/0/3	0/0/0	0/22/2	0/10/2
Dose NPK sur maïs (kg/ha)	150	150	150	150	150	150
Dose urée sur maïs (kg/ha)	100	100	100	100	100	100

Id : identique.

**Tableau 3.** Différentes stratégies d'intégration agriculture – élevage envisagées par les exploitants.

Type changement	Activités à mener	A1	A2	AE1	AE2	E1	E2
Structurel	Achat de bœuf de trait						
	Construction de fosse à compost						
	Construction d'un fenil pour augmenter la capacité de stockage de la paille						
	Mise en place d'un parc à bétail						
Stratégique	Augmentation capacité stockage fourrage						
	Introduction d'une sole fourragère						
	Introduction d'une sole de légumineuse						
	Introduction atelier d'embouche bovine						
	Réduction de l'effectif du troupeau						
	Introduction de la jachère dans l'assolement						
Tactique	Augmentation taux remplissage fosse						
	Augmentation dose d'apport de fumure minérale sur le maïs						
	Achat de fumier auprès des éleveurs						
	Réduction de la superficie en coton						
	Augmentation de la sole fourragère						
	Apport de fumure minérale sur le maïs						

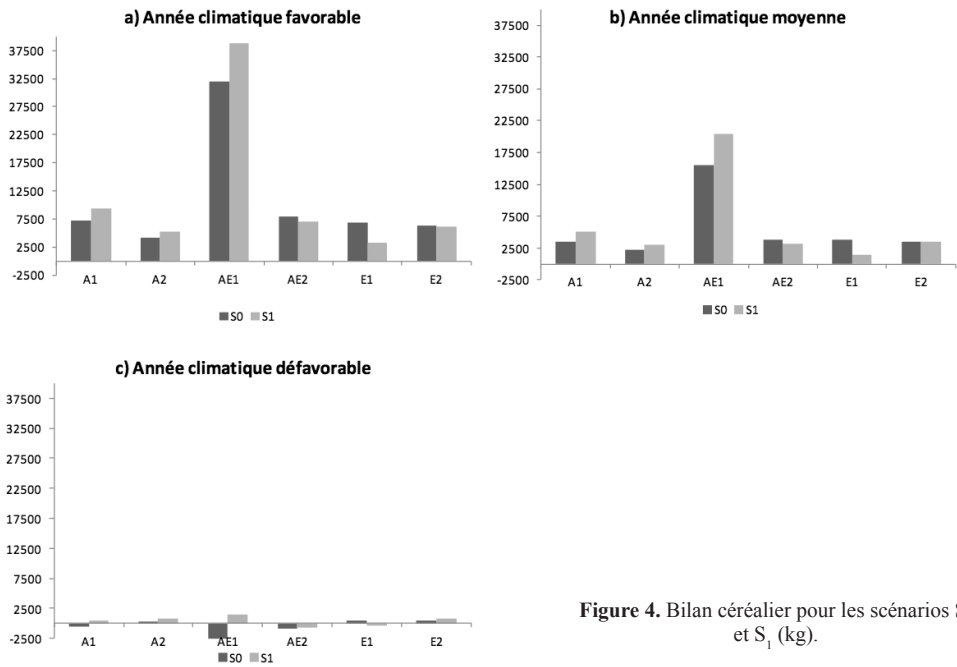


Figure 4. Bilan céréalier pour les scénarios  $S_0$  et  $S_1$  (kg).

Chez les éleveurs, les scénarios co-construits visent à augmenter les quantités de fourrages produites par UBT sur l'exploitation. Les pistes envisagées dans ces deux cas de figure sont identiques à savoir une diminution des effectifs animaux pour diminuer la demande fourragère, l'augmentation des capacités de stockage de fourrage, l'introduction de cultures fourragères (*Mucuna deeringiana*) et de niébé chez le premier, l'augmentation des surfaces existantes de *Mucuna deeringiana* chez le second.

Chez quatre producteurs (A1, A2, AE1, E1), les discussions ont conduit à lier ces changements préconisés avec l'introduction d'un atelier d'embouche pour diversifier les sources de revenu, et valoriser les stocks fourragers.

L'ensemble des producteurs ont, afin d'augmenter leur production agricole, planifié une augmentation des doses d'apports de fumure minérale (NPK et Urée) sur le maïs. Les rendements de cette culture ont été modifiés en conséquence dans les scénarios projet.

### 3.3. Effets du scénario projet sur l'intégration agriculture-élevage

$S_1$  permet d'améliorer les bilans fourragers des agriculteurs et agro-éleveurs quelle que soit l'année climatique malgré l'introduction de l'embouche chez AE1 (Figure 3). Ce résultat est lié à l'augmentation de la capacité de stockage du fourrage et des quantités stockées chez l'ensemble des producteurs ainsi que l'introduction de cultures fourragères.

Le surplus fourrager et les refus permettent d'augmenter les apports de fumure par hectare de maïs pour les agriculteurs et agro-éleveurs, mais ces apports restent inférieurs aux préconisations des structures de vulgarisation (Figure 2a). Ces apports de fumure organique ne dépassent pas 20% de la surface totale cultivée à raison de 2 tonnes par hectare (Figure 2b). Ils permettent néanmoins d'améliorer les bilans céréaliers en année climatique défavorable (Figure 4c), excepté

pour AE2 du fait de la diminution du quart de sa surface initiale en maïs. Cette amélioration des bilans céréaliers est aussi liée à l'augmentation des apports de fumure minérale sur la culture du maïs.

Une amélioration des revenus des agriculteurs et agro-éleveurs est observée en années favorable et moyenne (Figures 5a et 5b). Cette variation positive est due à la diversification des sources de revenu par l'introduction d'embouche ovine et bovine dans les exploitations et par l'augmentation de la production végétale permise par les apports de fumure organique et minérale. L'amélioration des bilans céréaliers constatée en année climatique défavorable demeure cependant insuffisante pour supporter l'ensemble des charges engendrées par les achats d'engrais minéraux entraînant ainsi une baisse des revenus (Figure 5c).

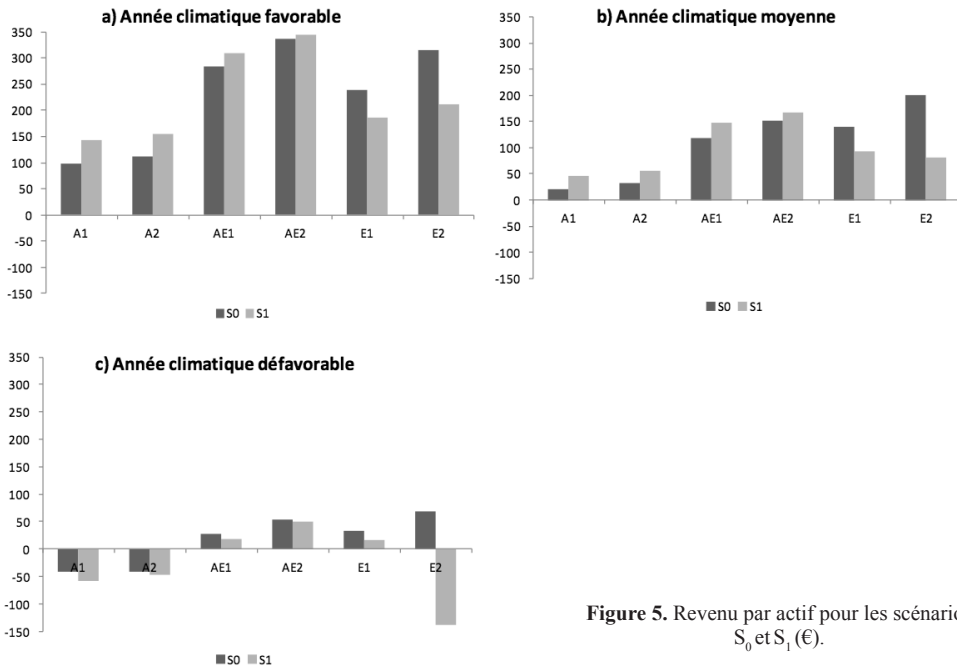


Figure 5. Revenu par actif pour les scénarios  $S_0$  et  $S_1$  (€).

Chez E1, la sédentarisation du troupeau entraîne une augmentation des besoins en fourrages non compensée par l'augmentation des stocks et de la surface fourragère (Figure 3). Cette situation conduit à un bilan fourrager négatif pour les trois types d'année simulée. La baisse des surfaces de céréales au profit de la culture fourragère se traduit par une diminution du bilan céréalier qui devient négatif en année défavorable. Cette baisse des bilans céréaliers et fourragers conduit à des revenus plus faibles (Figures 4 et 5), le déficit fourrager conduisant à des achats de tourteaux de coton. Ce processus se retrouve chez E2 uniquement en année climatique défavorable.

### 3.4. Évaluation par les producteurs des différents changements entre $S_0$ et $S_1$ et suivi des pratiques

Pour passer de  $S_0$  à  $S_1$ , les exploitants doivent mettre en œuvre certains changements dans l'exploitation. Ainsi, l'agriculteur A1 et les deux agro-éleveurs doivent mettre en œuvre des changements structurels par la construction de fosse à compost (A1), de fenil (AE1) et de parc



à bétail au champ (AE2) (Tableau 3). La mise en place de ces changements est jugée difficile par le producteur A1, car onéreuse. Ces changements structurels sont moins difficiles pour les producteurs AE1 et AE2 qui ont des capacités d'investissement supérieures.

Les changements d'ordres stratégiques et tactiques concernent les six producteurs qui ont tous prévu dans le court terme une augmentation des stocks de fourrage et de la production de fumure organique. Ces changements sont jugés difficiles à mettre en œuvre par les deux éleveurs E1 et E2 car ils supposent une rupture avec leurs savoirs et pratiques de gestion du troupeau. Les changements d'ordres stratégiques et tactiques sont jugés plus faciles à mettre en œuvre chez les agriculteurs et agro-éleveurs. Quelques difficultés apparaissent néanmoins. Elles sont liées à la possibilité d'acquiescer un crédit pour ceux désirant faire de l'embouche bovine (AE1) ou acheter du fumier (A1, A2, AE1), à la mobilisation des membres actifs de l'exploitation autour de la collecte de fumure organique et du fourrage (A1, A2, AE1) ou pour la conduite de la sole fourragère.

Une mise en œuvre effective des changements d'ordre stratégique et tactique a été observée dès la première campagne agricole ayant suivi l'intervention chez les producteurs (situation à  $n + 1$ , Figure 6). Ainsi, on note une augmentation réelle de la production de fumure organique chez 5 des 6 producteurs entre la situation initiale et la situation à  $n + 1$ . A2 a introduit une culture fourragère dans son assolement et E2 a augmenté sa surface fourragère. En revanche, AE2 et AE1, ont respectivement diminué et supprimé la superficie en culture fourragère au profit du coton dont le prix d'achat au producteur a augmenté et le prix des intrants diminué. Le manque de main-d'œuvre a également été souligné par AE2. Une augmentation des doses d'apports de fumure minérale sur le maïs est également observée.

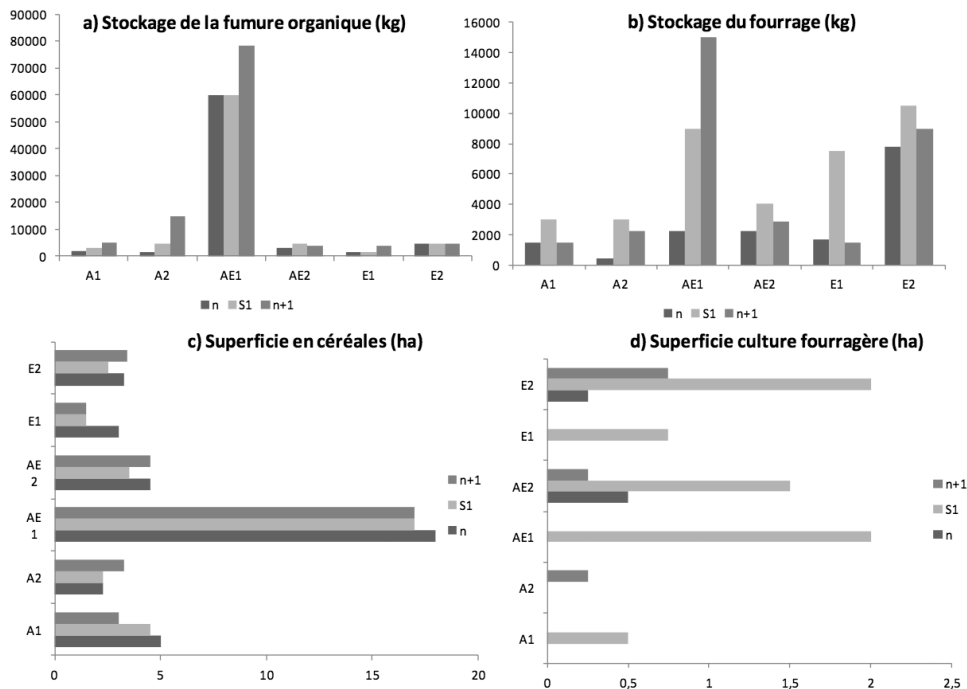
## 4. Discussion

### 4.1. Faisabilité de l'intégration agriculture-élevage pour les petits producteurs

L'intégration agriculture-élevage la plus pratiquée actuellement par les producteurs prend la forme d'un transfert de faibles quantités de biomasse végétale vers les animaux de trait utilisés pour les travaux champêtres. Ces bœufs de trait produisent en retour de faibles quantités de fumure animale utilisée pour la fertilisation des cultures. Cette pratique est courante depuis l'introduction de la traction animale dans les exploitations agricoles (Vall et al., 2003) mais ne permet pas d'atteindre les deux tonnes à l'hectare sur les parcelles de maïs préconisées par la recherche (Traore et al., 2007).

Face à la baisse de la production agricole constatée ces dernières années et due à la quasi disparition de la jachère et à la saturation du foncier, deux stratégies se font jour conduisant aux mêmes pratiques de stockage de la biomasse produite et de stabulation des animaux sur l'exploitation pendant la saison sèche chaude. Les agriculteurs et les agro-éleveurs visent explicitement à produire de la fumure organique pour améliorer la fertilité de leurs sols, alors que les éleveurs, qui disposent d'une charge animale élevée par hectare cultivé, cherchent à mieux alimenter leur troupeau et à réduire leur mobilité, source de dépenses énergétiques et de conflits avec les autres types de producteurs.

Pour justifier un stockage accru de fourrage et rentabiliser l'effort consenti pour collecter plus de biomasse, les projets formulés par les producteurs doivent inclure des activités génératrices de revenu pour l'exploitation telles que l'embouche ovine et bovine (Okike et al., 2005 ; Basu, Scholten, 2012). Cette tendance se retrouve bien dans les projets des agriculteurs et agro-éleveurs étudiés, qui leurs permettent en général d'améliorer leur bilan céréalier tout type d'année confondue et leur revenu par actif lors d'année climatique favorable ou moyenne. En année climatique défavorable, le surplus céréalier ne compense pas l'achat d'engrais entraînant ainsi une baisse du revenu par actif et rendant le système plus vulnérable.



**Figure 6.** Scenario et pratiques réelles des différents producteurs.  
**n** : situation initiale; **S<sub>1</sub>** : co-conception de scenario; **n + 1** : pratiques réelles.

En outre les importants changements d'ordres structurels, stratégiques ou tactiques envisagés ne permettent pas d'augmenter significativement la part de la surface cultivée fertilisée organiquement selon les préconisations des structures de vulgarisation. Cette insuffisance de matières organiques peut influencer la durabilité de ces exploitations. De plus, les difficultés perçues par les agriculteurs et agro-éleveurs pour mettre en œuvre ces changements interrogent sur la faisabilité de l'intégration agriculture-élevage dans leurs exploitations (van Wijk et al., 2009). Nos résultats montrent donc les limites de cette voie dans un contexte où l'élevage demeure une activité économique encore peu développée en l'absence de filières organisées, notamment pour l'embouche ou la production laitière. Les stratégies testées combinent usage de fumure organique et d'engrais minéraux à des doses relativement faibles. L'augmentation des apports d'engrais minéraux offre des perspectives pour améliorer la productivité de ces systèmes intégrés mais avec le risque d'augmenter leur vulnérabilité.

Chez les éleveurs, l'amélioration de l'alimentation fourragère du troupeau et la réduction de la mobilité nécessitent une réduction des effectifs et une augmentation des quantités de fourrages produites et stockées. Ces évolutions sont en contradiction avec leurs pratiques existantes. Mais elles sont en accord avec leur perception grandissante que leur conception traditionnelle de l'élevage, basée sur l'accumulation d'animaux pour le prestige social et la mobilité pour pallier à l'insuffisance, à l'hétérogénéité et à la dispersion des ressources fourragères et de l'eau d'abreuvement, ne peut perdurer (Mohamed Saleem, 1998 ; Okike et al., 2005). Avec l'augmentation de la population dans les zones d'accueil des troupeaux et les contraintes familiales liées à la scolarisation des enfants, les pistes envisagées par les éleveurs nécessitent non seulement des changements de pratiques dans la gestion du troupeau mais aussi des changements de représentations sociales sur leur métier et sur leur propre identité. La disparition de la mobilité du troupeau pourrait en outre avoir des implications sur les autres

types de producteurs et l'ensemble des flux de biomasse à l'échelle du territoire villageois. En effet, la mobilité favorise les échanges entre producteurs pour la vente d'animaux, de lait, et les contrats de fumure organique (Smaling, Dixon, 2006).

## 4.2. Intérêts et limites méthodologiques

La démarche utilisée dans cette étude se base sur un outil de simulation ad-hoc et la mise en évidence de tendances entre scénarios. Cette approche se fonde sur un certain nombre de simplifications afin de favoriser la bonne compréhension des sorties par les producteurs. Ainsi les références utilisées ne tiennent pas compte de la diversité des types de sols, ou des teneurs réelles en nutriments des fumures et fourrages des exploitations. De même, les relations entre niveau de fertilisation, rendement et année climatique sont fondées sur des connaissances d'expert et non sur des relations mécanistes telles qu'on peut les trouver dans certains modèles de culture (Keating et al., 2003).

La démarche de co-construction des scénarios constitue un support de discussion entre le producteur et le chercheur (van Wijk et al., 2009 ; Casagrande et al., 2010). Elle a permis aux producteurs d'analyser de façon systémique les problèmes qu'ils rencontrent au sein de leur exploitation, de définir des solutions pour y remédier et de les comparer en évaluant leur faisabilité (Le Gal et al., 2012) qui varie fortement en fonction des caractéristiques structurelles propres à chaque exploitation. Cet exercice de modélisation participative (Andrieu et al., 2012) leur a permis de mieux raisonner la planification stratégique de leurs activités agropastorales, avant une phase d'expérimentation en vraie grandeur des options leur paraissant les plus intéressantes et les plus faisables à court terme. Ce processus d'interaction avec les producteurs a permis aux chercheurs de mieux comprendre leurs stratégies et contraintes face à des propositions tendant à voir l'intégration agriculture-élevage comme une voie prometteuse vers une meilleure durabilité de ces exploitations.

## 5. Conclusion

Basée sur une interaction entre chercheurs et producteurs, cette étude a permis d'identifier des scénarios d'augmentation des quantités de biomasses animale et végétale transférables dans les systèmes de production mixtes agriculture – élevage afin d'améliorer leur production. Les exploitations à forte composante agricole (agriculteurs et agro-éleveurs) se sont orientées vers des scénarios permettant une augmentation de la production végétale par l'augmentation et la valorisation de la biomasse animale produite en interne, voire achetée. Les éleveurs ont imaginé des projets allant dans le sens d'une réduction de la taille de leur troupeau et d'une introduction de cultures fourragères dans l'assolement, en articulation avec une augmentation de la capacité de stockage de la paille.

Ces scénarios permettent d'améliorer les bilans céréaliers, fourragers et économiques de certains producteurs. Néanmoins l'augmentation de la quantité d'apport de fumure organique à l'hectare chez les agriculteurs et agro-éleveurs reste trop faible pour espérer améliorer durablement la production végétale. Or ces scénarios nécessitent des changements structurels, stratégiques et tactiques qui mobiliseraient d'importants moyens financiers pour certains agriculteurs et agro-éleveurs, et une modification des modes de conduite du troupeau pour les éleveurs. L'intégration agriculture-élevage dans ce contexte présente donc des limites qui freinent la productivité agropastorale des exploitations à long terme.

## Bibliographie

- Affholder F. et al., 2012. Ad Hoc Modeling in Agronomy: What Have We Learned in the Last 15 Years? *Agronomy Journal*, **104**, 735-748.
- Andrieu N. et al., 2012. Validating a whole farm modelling with stakeholders: Evidence from a West African case. *Journal of Agricultural Science*, **4**, 159-173.
- Basu P., Scholten B.A., 2012. Crop–livestock systems in rural development: linking India’s Green and White Revolutions. *International Journal of Agricultural Sustainability*, **10**, 175-191.
- Bationo A., Kihara J., Vanlauwe B., Waswa B., Kimetu J., 2007. Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. *Agricultural Systems*, **94**, 13-25.
- Bernard J., Le Gal P.Y., Triomphe B., Hostiou N., Moulin C.H., 2011. Involvement of small-scale dairy farms in an industrial supply chain: when production standards meet farm diversity. *Animal*, **5**, 961-971.
- Bood R., Postma T., 1997. Strategic learning with scenarios. *European Management Journal*, **15**, 633-647.
- Boulet R., Leprun J.C., 1969. *Étude pédologique de la Haute-Volta. Région Est*. ORSTOM, Dakar, 331 p.
- Bradshaw B., Dolan H., Smit B., 2004. Farm-Level Adaptation to Climatic Variability and Change: Crop Diversification in the Canadian Prairies. *Climatic Change*, **67**, 119-141.
- Bunassols, 1985. *État de connaissance de la fertilité des sols du Burkina Faso*. Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage, Ouagadougou, 47 p.
- Casagrande M. et al., 2010. Exploring options for sustainable farming systems development for vegetable family farmers in Uruguay using a modeling toolkit. In: *Nineth European IFSA Symposium, 4-7 July 2010, Vienna, Austria*, p. 463-469.
- Dugué P., Dongmo Ngoutsop A.L., 2004. Traction animale et association agriculture élevage dans les savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre. D'un modèle techniciste à une démarche d'intégration raisonnée à différentes échelles. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, **57**, 157-165.
- Gautier D., Ankogui-Mpoko G.F., Renoudji F., Njoya A., Seignobos C., 2005. Agriculteurs et éleveurs des savanes d'Afrique Centrale: de la co-existence à l'intégration territoriale. *L'Espace Géographique*, **3**, 223-236.
- Giller K.E., Rowe E.C., de Ridder N., van Keulen H., 2006. Resource use dynamics and interactions in the tropics: Scaling up in space and time. *Agricultural Systems*, **88**, 8-27.
- Herrero M. et al., 2010. Smart Investments in Sustainable Food Production: Revisiting Mixed Crop-Livestock Systems. *Science*, **327**, 822-825.
- Hilimire K., 2011. Integrated Crop/Livestock Agriculture in the United States: A Review. *Journal of Sustainable Agriculture*, **35**, 376-393.
- Hostiou N., Dedieu B., 2009. Diversity of forage system work and adoption of intensive techniques in dairy cattle farms of Amazonia. *Agronomy for Sustainable Development*, **29**, 535-544.
- Jansen H.G.P., 1993. Ex-ante profitability of animal traction investments in semi-arid Sub-Saharan Africa: Evidence from Niger and Nigeria. *Agricultural Systems*, **43**, 323-349.
- Jera R., Ajayi O.C., 2008. Logistic modelling of smallholder livestock farmers’ adoption of tree-based fodder technology in Zimbabwe. *Agrekon*, **47**, 379-392.
- Keating B.A., McCown R.L., 2001. Advances in farming systems analysis and intervention. *Agricultural Systems*, **70**, 555-579.
- Keating B.A. et al., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, **18**, 267-288.
- Le Gal P.Y., Bernard J., Moulin C.H., 2012. Supporting strategic thinking of smallholder dairy farmers using a whole farm simulation tool. *Tropical Animal Health and Production*, **44**, 13.

- Lhoste P., 2007. Sociétés pastorales et désertification au Sahel. *Bois et Forêts des Tropiques*, **293**, 49-59.
- Lompo F. et al., 2007. Influence à long terme des modes de gestion de la fertilité sur les états, les formes, les fractions et le bilan du phosphore d'un lixisol du Burkina en culture continue de sorgho. *International Journal Biological and Chemical Sciences*, **2**, 175-184.
- Manlay R.J., Ickowicz A., Masse D., Feller C., Richard D., 2004. Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget in a village of the West African savanna-II. Element flows and functioning of a mixed-farming system. *Agricultural Systems*, **79**, 83-107.
- Mohamed Saleem M.A., 1998. Nutrient balance patterns in African livestock systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **71**, 241-254.
- Muchagata M., Brown K., 2003. Cows, colonists and trees: rethinking cattle and environmental degradation in Brazilian Amazonia. *Agricultural Systems*, **76**, 797-816.
- Okike I., Jabbar M.A., Manyong V.M., Smith J.W., 2005. Ecological and Socio-Economic Factors Affecting Agricultural Intensification in the West African Savannas: Evidence from Northern Nigeria. *Journal of Sustainable Agriculture*, **27**, 5-37.
- Ouédraogo E., Mando A., Zombré N.P., 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **84**, 259-266.
- Petersen S.O. et al., 2007. Recycling of livestock manure in a whole-farm perspective. *Livestock Science*, **112**, 180-191.
- Powell J.M., Pearson R.A., Hiernaux P.H., 2004. Crop-livestock interactions in the west African drylands. *Agronomy Journal*, **96**, 469-483.
- Pretty J., Toulmin C., Williams S., 2011. Sustainable intensification in African agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, **9**, 5-24.
- Reij C.P., Smaling E.M.A., 2008. Analyzing successes in agriculture and land management in Sub-Saharan Africa: Is macro-level gloom obscuring positive micro-level change? *Land Use Policy*, **25**, 410-420.
- Schlecht E., Buerkert A., 2004. Organic inputs and farmers' management strategies in millet fields of western Niger. *Geoderma*, **121**, 271-289.
- Sere C., Steinfeld H., 1996. World livestock production systems: current status, issues and trends. *Animal Production and Health Paper*, **127**, 1-48.
- Smaling E.M.A., Dixon J., 2006. Adding a soil fertility dimension to the global farming systems approach, with cases from Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **116**, 15-26.
- Smith J.W., Naazie A., Larbi A., Agyemang K., Tarawali S., 1997. Integrated crop-livestock systems in sub-Saharan Africa: an option or an imperative? *Outlook on Agriculture*, **26**, 237-246.
- Sterk B. et al., 2006. Finding niches for whole-farm design models-contradictio in terminis? *Agricultural Systems*, **87**, 211-228.
- Tittonell P. et al., 2009. Beyond resource constraints – Exploring the biophysical feasibility of options for the intensification of smallholder crop-livestock systems in Vihiga district, Kenya. *Agricultural Systems*, **101**, 1-19.
- Traore O., Traore K., Bado B.V., Lompo D.J.P., 2007. Crop rotation and soil amendments: impacts on cotton and maize production in a cotton-based system in western Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **1**, 143-150.
- Vall E., Diallo M.A., 2009. Savoirs techniques locaux et pratiques : la conduite des troupeaux aux pâturages (Ouest du Burkina Faso). *Natures Sciences Sociétés*, **17**, 122-135.
- Vall E., Lhoste P., Abakar O., Dongmo Ngoutsop A.L., 2003. La traction animale dans le contexte en mutation de l'Afrique subsaharienne : enjeux de développement et de recherche. *Cahiers Agricultures*, **12**, 219-226.
- Vall E., Dugué P., Blanchard M., 2006. Le tissage des relations agriculture-élevage au fil du coton. *Cahiers Agricultures*, **15**, 72-79.

- van Wijk M.T. et al., 2009. Identifying key entry-points for strategic management of smallholder farming systems in sub-Saharan Africa using the dynamic farm-scale simulation model NUANCES-FARMSIM. *Agricultural Systems*, **102**, 89-101.
- Zingore S., Murwira H.K., Delve R.J., Giller K.E., 2007. Soil type, management history and current resource allocation: Three dimensions regulating variability in crop productivity on African smallholder farms. *Field Crops Research*, **101**, 296-305.

## Contributions des innovations paysannes aux résultats de la recherche scientifique : cas d'un remède traditionnel contre les ectoparasites de la volaille

Zongo Léon, Diobass Burkina Faso, E-mail : zongolon@yahoo.fr  
Mongbo L. Roch., Université d'Abomey-Calavi, Bénin

### Résumé

Depuis plusieurs années déjà, des paysans et paysannes organisés en Groupes de Recherche-Action (GRA) au sein de Diobass-Burkina Faso, entreprennent des investigations systématiques pour concevoir et expérimenter leurs propres remèdes aux diverses contraintes auxquelles ils sont confrontés. La contrainte sanitaire que constituent les ectoparasites a fait l'objet de telles investigations par le GRA du village de Toéghin qui a réussi à mettre au point un remède traditionnel dénommé 'tao-tao'<sup>1</sup> pour lutter contre les ectoparasites de la volaille.

Afin de s'assurer de l'innocuité et l'effet thérapeutique du remède, l'association Diobass a entamé en 2008, une collaboration avec la recherche scientifique, notamment l'Unité d'Étude et de Recherche en Biologie et Santé Animale (UER-BSA) de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) du Burkina Faso. Un protocole de validation du remède intégrant la participation des paysans auteurs et la prise en compte de leurs savoirs endogènes a permis de conduire les premiers tests en laboratoire et sur le terrain. Les résultats n'ont montré ni érythème ni œdème sur le poulet. En outre, ils ont révélé la mort des tiques au troisième jour (J3) suite à l'application du médicament traditionnel 'tao-tao'.

Pour la détermination et l'amélioration de l'efficacité du remède sur les ectoparasites des petits et gros ruminants, Diobass et l'INERA renforcent leur collaboration avec l'accompagnement de LADYD.

### Contribution of the peasants's knowledge to scientific research: the case of a traditional remedy against chicken ectoparasites

During several years, the peasants organized in groups Action Research (GRA) in Diobass-Burkina Faso, undertake systematic investigations to develop and test their own remedies to the various constraints they face. Amongst health constraints, are ectoparasites that have been the subject of such investigations by the GRA Toéghin who managed to develop a traditional remedy called 'tao-tao' fight against ectoparasites.

To ensure the innocuousness and therapeutic efficacy of the remedy, the Diobass Association began in 2008, a collaboration with scientific research, especially the Unit of Study and Research in Biology and Animal Health (EBU-BSA) of the Institute of Environment and Agricultural Research (INERA) of Burkina Faso. A validation protocol of the remedy with farmer authors participation and taking into account their indigenous knowledge permitted to lead the first tests in the laboratory and in the field.

The results have shown no erythema or edema over the chicken. Besides, they revealed the death of ticks on the third day (D3) after the application of traditional medicine 'tao-tao'. For the determination and the amelioration of the effectiveness of the remedy on the ectoparasites of small and large ruminants. Diobass and INERA strengthen their collaboration with the accompaniment of LADYD.

## 1. Introduction

Au Burkina Faso, le secteur de l'élevage contribue à hauteur de 26% aux recettes d'exportations et emploie 900 000 personnes pour la production, 60 000 à 90 000 autres dans

<sup>1</sup> Il s'agit d'un mot de la langue mooré qui signifie « expéditif » ou « effet immédiat ».



les activités de transformation et de commercialisation (MRA, 2010). L'élevage constitue très souvent la source principale de revenus pour une grande partie des ménages ruraux. On estime actuellement que près de 86 % de la population active tirent une partie ou entièrement leurs revenus de l'élevage (Bakyono, Ouedraogo, 2007).

L'aviculture est la première source de revenus des ménages ruraux dans certaines localités du Burkina Faso. Malheureusement, l'élevage des animaux domestiques, notamment l'aviculture, est confronté à diverses contraintes parmi lesquelles la gestion des ectoparasites qui reste préoccupante du fait des lésions cutanées qu'ils occasionnent, ainsi que les maladies qu'ils transmettent aux animaux (Chartier et al., 2000). Des travaux antérieurs ont permis d'identifier trois types d'ectoparasites (les poux mallophages, les puces et les tiques) au Burkina Faso (Wangrawa, 2010) et une espèce répandue en Afrique de l'Ouest et du Centre (Adakal, Kagoné, 2012). Les parasites externes tels que les mites, les poux, les mouches et les tiques sans traitement, entraînent une perte de poids et une possible perte de plumes, car les parasites sucent le sang et irritent la peau (Riise et al., 2004).

Les contraintes sanitaires, non négligeables pour la productivité du cheptel et le développement de l'élevage, s'expliquent par l'accessibilité difficile aux intrants vétérinaires (médicaments, vaccins) due au coût élevé, aux produits de contrefaçon, etc. (MRA, 2010).

Au Burkina Faso, le village de Toéghin situé dans la province du Kourwéogo ne disposait pas de poste vétérinaire avant 2008. Le plus proche était situé à 50 km et assurait une faible couverture vaccinale et de traitements des pathologies animales. Face à la mortalité de leurs poulets et pintades, des paysannes de l'Association Sougr-nooma du village de Toéghin entreprirent la recherche action paysanne (RAP) selon la démarche Diobass, afin d'apporter une solution endogène de traitement des ectoparasites de la volaille. Les résultats de cette recherche ont jeté un nouveau regard de la recherche scientifique sur les savoirs endogènes.

## **2. Matériel et méthodes**

### **2.1. Zone d'étude**

Située à 56 km au nord-ouest de la capitale Ouagadougou, la commune rurale de Toéghin couvre une superficie de 179 808 km<sup>2</sup>. Elle partage ses limites administratives avec deux autres communes rurales : Niou au Nord et à l'Ouest, Dapélogo à l'Est. La commune possède un climat tropical de type soudano-sahélien caractérisé par des pluviométries moyennes de 700 mm.

### **2.2. Diobass et ses organisations**

L'Association Diobass-Burkina Faso (Diobass BF) a été fondée en 1997 et travaille dans le domaine de la recherche action paysanne.

Diobass est une plateforme d'Organisations Paysannes (OP), de groupes de recherche et de personnes ressources désireuses de promouvoir la démarche Diobass. Elle compte actuellement 52 OP abritant 84 Groupes de Recherche-Action (GRA) répartis dans 11 provinces du Burkina Faso. Entre 1996 et 2008, les GRA de Diobass ont mis au point environ 200 innovations dans le domaine de l'agriculture, l'élevage, la santé humaine et les activités génératrices de revenus des femmes (Bangali, 2008).

L'association Sougri-Nooma des femmes de Toéghin est une organisation paysanne membre de Diobass dont le siège se trouve dans le village de Toéghin. Elle comptait en 2010, 177 femmes de 18 groupements féminins répartis dans 18 villages de la commune de Toéghin. Les activités principales de l'association sont l'agriculture, l'élevage, les Activités Génératrices de Revenus (AGR) des femmes de la RAP.

C'est parmi les membres que le bureau de l'association a choisi 15 femmes volontaires et bénévoles pour constituer le GRA « *Wend manegda* »<sup>2</sup>.

## 2.3. Dispositif expérimental

### 2.3.1. De la RAP

Un groupe de recherche action de 15 femmes a été mis en place par l'Association Sougr-Nooma des femmes de Toéghin pour conduire des réflexions, des diagnostics et des expérimentations sur les maladies aviaires avec l'accompagnement méthodologique et matérielle de l'équipe technique de Diobass. Elles ont mis 5 ans et ont conduit la RAP selon les phases suivantes :

- La phase d'initiation a consisté en l'observation des poulets infestés et leur habitat afin de diagnostiquer les causes et les symptômes de l'infestation des poulets par les ectoparasites. Elles ont identifié trois espèces de tiques répandues dans les élevages : les poux mallophages, les puces et les tiques.
- La phase d'approfondissement a permis au groupe de recherche action d'identifier 3 plantes avec la participation des vieux éleveurs. Des extraits de plantes ont été expérimentés sur 3 lots de 5 poulets parasités par les trois types d'ectoparasites des ménages volontaires afin de déterminer leur efficacité.
- La phase de validation populaire et d'amélioration du remède a consisté d'abord à l'amélioration de la dose ; variation de la dose selon le nombre de cuillères à soupe à appliquer sur un poulet infesté. Ensuite, les femmes ont déterminé le temps de péremption par des applications mensuelles du stock de remède.
- Les résultats de ces différents paramètres ont été validés lors des restitutions locales par les ménages expérimentateurs (validation populaire).
- La phase de la diffusion au sein des communautés des éleveurs : après la validation populaire, le remède est fabriqué par les « chercheuses paysannes » et distribué aux éleveurs à des prix sociaux.

### 2.3.2. De la recherche scientifique

Tests de toxicité et d'efficacité commandités par Diobass et conduits par l'INERA.

Il s'agit pour la recherche de : 1) réaliser des tests d'irritation cutanée sur la peau des lapins suite à l'application du remède du GRA utilisé par les producteurs pour lutter contre les ectoparasites ; 2) vérifier leur efficacité en station et en milieu éleveur sur la volaille. Au laboratoire : Le médicament traditionnel (tao-tao) à tester (2 × 0,5 g) est déposé sur deux carrés de gaze stérile. Un carré (5 × 5 cm) est appliqué sur la partie antérieure de la zone non incisée du flanc gauche et le deuxième carré sur la partie antérieure de la zone incisée du flanc droit de chaque animal.

Les carrés de gaze sont enlevés 24 heures après l'application. On évalue les lésions cutanées une heure après par une première lecture puis 72 heures après l'application par une deuxième lecture selon l'échelle décrite ci-après. Les observations sont faites sur les parties incisées et non incisées.

### 2.3.3. Terrain

Pour le test contre les ectoparasites des volailles, une appréciation qualitative du nombre de parasites externes a été faite le jour de l'application des différents traitements (J0).

<sup>2</sup> Il s'agit d'un mot de la langue mooré qui signifie « Dieu ».

## 2.4. Résultats obtenus

### 2.4.1. De la RAP

Les travaux de la RAP ont abouti à la mise en place d'une pharmacopée vétérinaire en poudre 'tao-tao' contre les ectoparasites des poules (tiques, puces et punaises). Le remède est une poudre à base de végétaux (*Mitracarpus scaber*) à laquelle on mélange du beurre de karité. Les 2 ingrédients sont à quantité égale (2 cuillères à café de la poudre + 2 cuillères à café du beurre). Le beurre est mélangé de préférence sous forme liquide au produit et enduit aux parties infestées du poulet.

L'efficacité du remède est observée au bout de la même journée par la mort des ectoparasites.

### 2.4.2. De la recherche scientifique

Les carrés de gaze ont été enlevés 24 heures après l'application et la lecture des mesures des lésions cutanées provoquées par le médicament traditionnel 'tao-tao' a été réalisée sur les parties incisées et non incisées. Les résultats des tests d'irritation ne montrent ni érythème ni œdème suite à l'application du médicament traditionnel.

Aussi, en ce qui concerne l'efficacité du remède traditionnel, on note après l'application des traitements que le niveau d'infestation à J3 des lots traités avec les médicaments (moderne<sup>3</sup> et traditionnel) est nul et a considérablement baissé comparativement à celui de J0 (Tableau 1).

**Tableau 1.** Niveau d'infestation des volailles aux ectoparasites avant et après l'expérimentation en milieu paysan.

Lots	Effectif d'animaux	Quantité de tiques	
		J0	J3
Non traité (témoin)	2	++	+++
Traité avec le médicament traditionnel (tao-tao)	2	+++	-
Traité avec le médicament moderne (Vectocid)	2	+++	-

INERA, 2010.

+++ : très infesté, ++ : modérément infesté, + : faiblement infesté, - : non infesté.

Chez les poules traitées au médicament traditionnel, les tiques sont mortes et restent adhérentes sur le corps à cause probablement du beurre de karité. Par contre, les tiques mortes des poules traitées au médicament moderne tombent sur le sol du poulailler (INERA, 2010).

Le médicament traditionnel 'tao-tao' du GRA de Toéghin est efficace contre les argas des poules selon les prescriptions d'utilisation *in vivo* (INERA, 2010).

## 3. Conclusion

Les innovations sont utilisées par les agropasteurs pour accroître leurs rendements agricoles ou créer de nouvelles activités génératrices de revenus (transformation des produits forestiers non ligneux, savonnerie, techniques commerciales, artisanats...). Par les premiers tests réalisés, le remède traditionnel 'tao-tao' s'est montré efficace tant au niveau paysan qu'au niveau de la recherche. Cela a prévalu de nos jours, plusieurs rencontres d'échange entre les chercheurs et Diobass avec l'accompagnement de Ladyd de l'Université d'Abomey-Calavi/Bénin. Un protocole de collaboration est établi entre les différents acteurs pour conduire de nouveaux tests pour la détermination de l'efficacité du remède traditionnel sur les ectoparasites

<sup>3</sup> C'est le Vectocid.

des petits et gros ruminants. Ainsi, les résultats de cette collaboration doivent aboutir à une amélioration (forme, présentation et dosage), à la production et diffusion du remède. Les travaux contribueront à l'amélioration de la lutte contre les ectoparasites.

## Bibliographie

- Adakal H., Kagoné H., 2012. *Évaluation des tiques et des maladies du bétail émergents et les stratégies de lutte intégrées en Afrique de l'Ouest*. CIRDES. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
- Bakyono D., Ouédraogo T., 2007. *Analyse de la filière bétail – viande au Burkina Faso*. Ministère des Ressources Animales, Ouagadougou, 14 p.
- Bangali S., 2009. *Étude diagnostique de la recherche action paysanne de la plate-forme des organisations paysannes de Diobass, Burkina Faso*. Diobass, Ouagadougou.
- Chartier C., Itard J., Morel P.C., Troncy P.M., 2000. *Précis de Parasitologie vétérinaire tropicale*. Technique et Documentation Lavoisier, Paris, 774 p.
- INERA, 2010. *Rapport d'activités dans le cadre de la convention Diobass*. UER BSA-INERA, Ouagadougou, p. 11-14.
- MRA, 2010. *Politique nationale de développement durable de l'élevage au Burkina Faso 2010-2025*. Ministère des Ressources Animales, Ouagadougou, p. 19.
- Riise J.C., Permin A., McAinsh C.V., Frederiksen L., 2004. *Élevage de la Volaille Villageoise*. Network for Smallholder Poultry Development, Copenhagen, 91 p.
- Wangrawa W.G.J., 2010. *Effets des ectoparasites sur la productivité de la volaille en élevage traditionnel*. IDR/UPB, Ouagadougou, p. 28-29.



## Ruche Iritié à élongation horizontale, une innovation pour l'optimisation apicole et culturale

Iritie Bruno Marcel, Institut National Polytechnique-HB, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire,  
E-mail : iritiebm@yahoo.fr  
Fantodji Agathe, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire  
Yapi Magloire, Wandan Eboua N., Bodji Nguessan C.,  
Konan Eric-Arthur, Institut National Polytechnique-HB, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

### Résumé

Dans la panoplie des ruches horizontales existantes, aucune n'allie horizontalité et divisibilité. La ruche Iritié à élongation horizontale vient palier à cette insuffisance. La présente étude a pour objectif d'évaluer l'acceptation de cette ruche par les abeilles. Le comportement hygiénique (93,33 %) est au delà de la valeur minimale attendue (90 %). Quant à l'intensité de butinage, elle a maintenu un taux de réduction de 75,77 % ce qui est en harmonie avec celui des ruches de type Langstroth (71,56 % et 68,57 %). De plus, la ruche horizontale comparativement à la ruche Langstroth présente de très bonnes prédispositions concernant la production et la rentabilité.

### Beehive Iritie, an innovation to optimize honey and crop productions

In the outfit of existing horizontal hives, none allies horizontality and divisibility. The Iritie hive with horizontal strain comes landing to this insufficiency. The present study has for objective to estimate the acceptance of this hive by bees. The hygienic behavior (93,33%) is beyond the expected minimal value (90%). As for the intensity of butinage, she maintained a reduction rate of 75,77% which is in accordance with that of Langstroth's hives type (71,56% and 68,57%). Furthermore, the horizontal hive compared with the Langstroth hive, has very good predispositions concerning the production and the profitability.

## 1. Introduction

La pollinisation des fleurs dont dépendent les récoltes est essentiellement assurée par les insectes dont les meilleurs en pollinisation sont les abeilles et, l'apiculture qui permet de s'approprier une colonie d'abeilles, se fait à l'aide de ruches qui abritent ces abeilles. L'installation de ces ruches à proximité des plantations améliore donc les rendements agricoles. Afin que l'apiculture soit pour les agriculteurs une deuxième et importante source de revenu, il est souhaitable d'améliorer son équipement de base qui est la ruche, sous l'angle de la facilité d'exploitation et des capacités en miel.

Jusqu'ici, il existe deux grandes familles de ruches : celles qui peuvent être agrandies par empilement vertical d'éléments standard, dites ruches divisibles et celles qui peuvent être agrandies par ajout de cadres, latéralement. Les dimensions des ruches verticales varient en fonction du nombre d'éléments empilés. Quant aux horizontales, elles ont toujours le même aspect extérieur, et elles sont assez spacieuses pour accueillir des rayons supplémentaires, au fur et à mesure du développement de la colonie (wikipédia, 2013).

De manière générale dans certains pays africains, il a été opté pour la ruche Langstroth, à cadres mobiles, divisible puis verticale, et la ruche kényane (horizontale et indivisible)

(Balogoun, Mensah, 2004). Les inventions tentent toujours de corriger des insuffisances des premières ruches (Warre, 2009).

Dans la panoplie de ruches horizontales existantes (TBH, kényane ou Layens, etc.), aucune n'allie à la fois horizontalité et divisibilité à l'horizontal. La ruche Iritié à elongation horizontale vient exploiter la facilité de manipulation des ruches horizontales. Elle y adjoint la divisibilité, à l'horizontal, par l'assemblage horizontalement de plusieurs composantes distinctes. La ruche Iritié offre, en plus, de grandes composantes latérales qui apportent plus de miel pour mieux diversifier les sources de revenus. La présente étude a pour objectif d'analyser le comportement des abeilles par rapport à cette nouvelle ruche.

## 2. Matériel et méthodes

*Apis mellifera adansonii* est la race d'abeilles ayant servi à tester la ruche Iritié.

La ruche Langstroth a servi de référence pour le comportement des abeilles.

La ruche Iritié (Figures 1 et 2) possède des composantes qui communiquent horizontalement entre elles, avec des couvercles individualisés, un emboîtement solide; l'étanchéité est assurée par des chevauchements de toits.

Un congélateur a servi à tuer le couvain par congélation et un minuteur a servi au comptage des mouvements des abeilles.

### 2.1. Mesure de l'activité des butineuses

Elle s'est faite en 3 étapes :

1. Transvasement de colonie: de la ruche Langstroth 14 à la ruche Iritié
2. Mesure de l'activité externe

Observation de la colonisation en 2 semaines : cette étape a permis de vérifier que la colonie d'abeilles n'a pas déserté la ruche Iritié et s'y est bien installée (Tableau 1).

Mesure de l'activité des butineuses : l'évaluation s'est faite par comptage systématique, pendant 6 jours, des abeilles allant chercher le nectar et le pollen sur les fleurs pour les livrer à la ruche. Elle a concerné aussi bien les ruches Langstroth que les ruches Iritié. Une baisse des activités de butinage est constatée (Tableau 2) après le transvasement de la colonie de la ruche Langstroth 14 à la ruche Iritié. Ce nouveau paramètre appelé taux de réduction des activités de butinage (Tableau 3) est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux de réduction (\%)} = \frac{(\text{Mesure avant le transfert} - \text{Mesure après le transfert})}{\text{Mesure avant le transfert}} \times 100$$

3. Mesure de l'activité interne

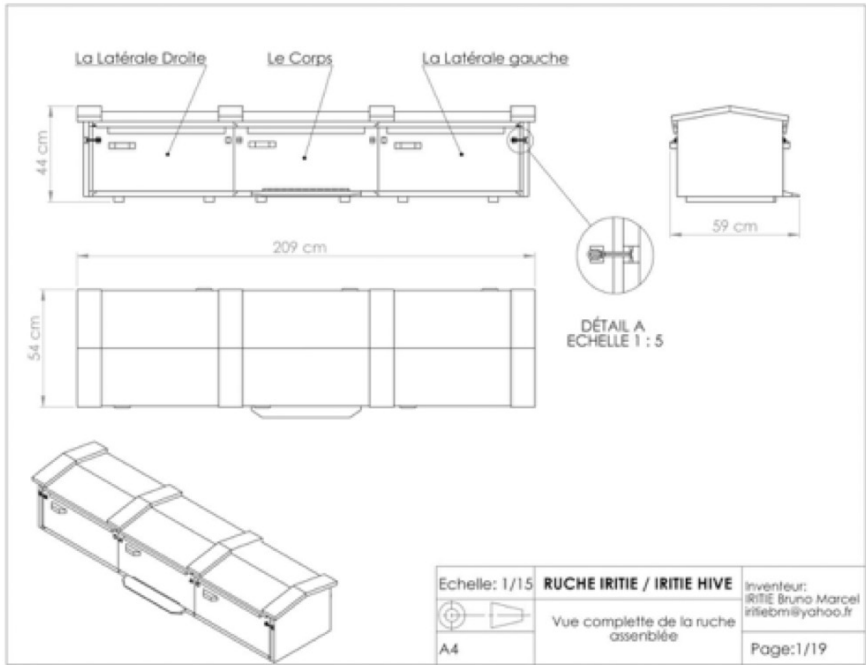
Mesure du comportement hygiénique

Le principe de base consiste à tuer des nymphes d'ouvrières (couvain operculé) et à mesurer l'aptitude de la colonie à nettoyer ce couvain mort. Cela implique trois comportements différents de la part de la colonie qui sont :

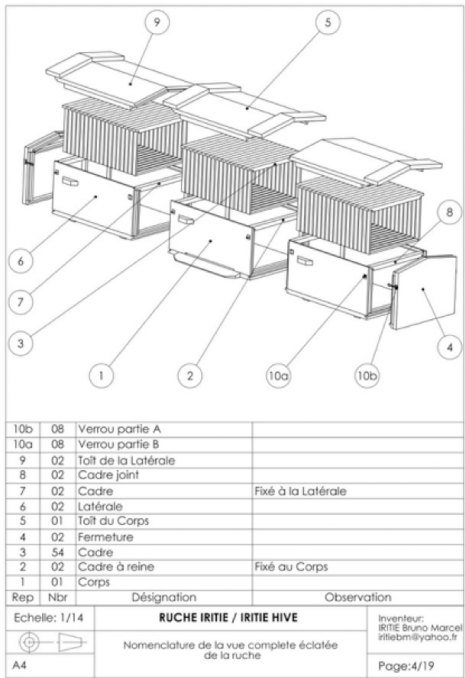
- (1) identifier les alvéoles dans lesquelles le couvain est mort,
- (2) désoperculer ces alvéoles, et
- (3) enlever la nymphe (Fert, 2012). Certaines colonies peuvent, par exemple, désoperculer les alvéoles mais ne pas les vider. Un comportement hygiénique parfait implique évidemment que la colonie vide complètement les alvéoles.

Pour l'étude, un cadre de couvain est repéré dans la partie centrale du nid. Un morceau de couvain operculé d'environ 5 cm × 6 cm, représentant une centaine de cellules, est découpé à l'aide d'une boîte cylindrique ; l'emplacement de la découpe est choisi en fonction





**Figure 1.** La ruche Iritié est constituée de 3 composantes, la centrale est appelée le corps et de part et d'autre du corps, il y a la latérale gauche et la latérale droite où le miel est stocké. La ruche complète a 209 cm d'envergure et 59 cm de largeur maximale et une hauteur de 44 cm. Les fermetures latérales sont dotées de verrou.



**Figure 2.** La vue éclatée de la ruche Iritié montre par composante 19 cadres dont les deux extrêmes sont fixes, chaque composante a son couvercle. Toute la ruche n'a que deux fermetures latérales qui se déplacent à chaque rajout de composante.

**Tableau 1.** Description du comportement de la colonie après le transvasement (colonie 14).

Dates de visite	Objet de la visite	Comportement de la colonie
Jour J 9-13 h	Transfert de la colonie	Très forte agressivité
J + 2 8-10 h	1 <sup>re</sup> visite d'inspection	– Colmatage des fissures laissées par l'assemblage – Réduction remarquable de l'agressivité – Mortalité estimée à environ 400 abeilles
J + 3 8-10 h	2 <sup>e</sup> visite d'inspection	– Poursuite du colmatage – Défense de la ruche contre des prédateurs (fourmis) – Absence totale d'agressivité
J + 8 8-10 h	3 <sup>e</sup> visite d'inspection	– Activité de colmatage ralentie – Rassemblement d'abeilles devant le trou de vol – Apparition des premiers vols de butinage
J + 9 à J + 14 8-10 h	Dernières visites d'inspection	– Fin de tous les travaux de colmatage – Butinage régulier mais avec une intensité visiblement réduite.

**Tableau 2.** Aperçu de l'évolution des activités de butinage (avant et après le transfert).

Nombres moyens d'abeilles par minute								
	Numéros des ruches	1 <sup>ères</sup> mesures	2 <sup>èmes</sup> mesures	3 <sup>èmes</sup> mesures	4 <sup>èmes</sup> mesures	5 <sup>èmes</sup> mesures	6 <sup>èmes</sup> mesures	Nombres moyens d'abeilles
Avant le transfert	12	191	187	245	217	198	225	211
	11	49	75	49	117	66	61	70
	14	234	180	283	192	128	145	194
Après le transfert	12	94	48	26	107	51	30	60
	11	12	17	26	25	23	25	22
	RI	79	33	30	68	35	32	47

**Tableau 3.** Taux de réduction des activités de butinage (en %).

Type de ruches	N°	1 <sup>ères</sup> mesures	2 <sup>èmes</sup> mesures	3 <sup>èmes</sup> mesures	4 <sup>èmes</sup> mesures	5 <sup>èmes</sup> mesures	6 <sup>èmes</sup> mesures	Moyennes
Langstroth	12	50,78	74,33	89,39	50,69	74,24	86,67	71,56
	11	75,51	77,33	46,94	78,63	65,15	59,02	68,57
Iritié	RI	66,24	81,66	89,40	64,58	72,66	77,93	75,77

de l'absence de cellules vides, sur une surface de 30 cm<sup>2</sup> en moyenne. Le morceau de couvain est emballé dans une feuille de papier et identifié avant d'être placé au congélateur pendant 24 heures (-7°C). Le lendemain, le morceau de rayon est remis en place dans la ruche. Il est constaté qu'en l'espace de 24 heures, les abeilles ont parfaitement nettoyé les cellules venant du congélateur. Toutes les nymphes ont été enlevées et le rayon reconstruit sur le bord. Quarante-huit heures plus tard, la colonie est à nouveau visitée pour la lecture du test. Le nombre de cellules ouvertes et vidées est alors estimé selon une échelle semi-quantitative. Pour chaque morceau de rayon, on note donc le niveau de nettoyage pour les paliers de 0, 10, 50, 90 et 100 % est noté. Les cellules ouvertes mais non vidées ne sont pas prises en considération. Pour chaque morceau de rayon, le niveau de nettoyage atteint est obtenu selon la formule suivante (Tableau 4) :

$$\text{Comportement hygiénique (\%)} = \frac{\text{Nombre de cellules désoperculées et vidées}}{\text{Nombre de cellules operculées}} \times 100$$

Les cellules ouvertes mais non vidées ne sont pas prises en considération. Ce test est répété trois fois avec des intervalles réguliers de quatre jours (Imdorf, Gerig, 1999; Giovenazzo, 2005; Fert, 2012).

**Tableau 4.** Mesure du comportement hygiénique.

Périodes de comptage	Qualités des cellules	Effectifs			Moyennes
		Test 1	Test 2	Test 3	
Avant la congélation	Nombre total	65	63	63	64
	Non operculées	04	04	03	04
	Operculées (A)	61	59	60	60
Après un séjour de 48 h dans la ruche Iritié	Intactes	01	00	00	01
	Percées	05	00	01	02
	Désoperculées et non vidées	06	01	02	03
	Désoperculées et vidées (B)	53	58	57	56
	Niveaux de nettoyage (B/A)	86,88 %	98,30 %	95,00 %	93,33 %

## 2.2. Analyse statistique

Le logiciel d'analyse statistique SPSS.11.5 a servi au traitement des données. À partir de la méthode d'analyse comparative des moyennes, les taux de réduction des activités des butineuses ont été soumis à l'analyse de variance (ANOVA) à un facteur. La comparaison de ces taux s'est effectuée par le test de Student-Newmann-Keuls au seuil de signification de 5 % (logiciel SPSS 11.5).

## 3. Résultats et Discussion

### 3.1. Colonisation de la ruche

La transposition des abeilles s'est effectuée en plein jour et dans une période où les stocks de miel sont effectifs, ce qui coïncide avec l'harmattan, marqué par la rareté de floraison. Néanmoins, la colonie n'est pas ressortie de la ruche Iritié, et les abeilles y ont rapidement développé des comportements d'accoutumance. La colonie d'abeilles est restée d'abord confinée au niveau du corps alors qu'elles avaient accès aux latérales. Elles ont par la suite stocké le miel dans les latérales.

### 3.2. Transposition de ruche à ruche et adaptation de la colonie

Le tableau 1 décrit le comportement de la colonie d'abeilles après la transposition d'une ruche Langstroth à la nouvelle ruche Iritié. Celles-ci ont manifesté une très forte agressivité dès les premiers jours de transfert, mais avec le temps, elles ont fait montre d'une adaptabilité remarquable malgré la période de l'harmattan. L'agitation et l'agressivité observées après le transfert, malgré la présence de leur reine, pourraient être expliquées par le changement d'odeur de l'habitat. En effet, certaines odeurs rendent les abeilles très agressives (Libis, 1971 ; Philippe, 1988).

### 3.3. Activité de butinage

Comme le montre le tableau 2, le nombre moyen d'abeilles comptées par minute se situait entre 70 et 211 avant le transfert de la ruche source à 22-60 après le transfert dans la ruche Iritié. Soit une réduction moyenne de 69 à 72 % d'activité de la même colonie. Sur les 12 essais effectués, dans 75 % des cas il est observé une réduction de l'activité de la même

colonie d'abeilles en passant de la ruche Langstroth à la ruche Iritié. Le transfert des colonies des ruches Langstroth aux ruches Iritié a eu lieu pendant la saison sèche, période d'harmattan caractérisée par une baisse notable de la température (de 28 °C à 24 °C) et de l'hygrométrie. Il en ressort de l'analyse statistique qu'il n'existe aucune différence significative entre les taux de réduction des activités de ces trois colonies.

Le changement dans le climat et la végétation pourraient expliquer cette réduction de l'activité de butinage (Alphandery, 1931). Ces résultats confirment la thèse de Tchuenguem Fohouo et al. (2002) sur le rôle des facteurs climatologiques sur l'intensité du butinage. D'après leur étude, les plus forts taux de butinage ne s'enregistrent que lors des matinées calmes, faiblement ensoleillées ou par temps de fines pluies qui favoriseraient l'humidification du pollen pour son adhérence.

Les mortalités enregistrées lors du transfert des colonies de ruches à ruches, dues au stress, peuvent avoir eu aussi un impact sur les activités de butinage.

### 3.4. Évaluation du comportement hygiénique

Le nombre moyen de cellules désoperculées par les abeilles est 60 sur 64 cellules operculées dénombrées, soit 94 %, lors du prélèvement du morceau de couvain dans la ruche Iritié (Tableau 3). À part les résultats du test 1 réalisé une semaine après le transfert (87,45 %), les deux autres résultats (2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> semaine après transfert) indiquent un niveau de nettoyage supérieur à 90 % (Tableau 4), indiquant une colonie hautement hygiénique (Fert, 2012). Ces résultats montrent que la nouvelle ruche Iritié n'a pas d'effet négatif sur le comportement hygiénique des abeilles.

## 4. Conclusion et perspectives

L'évaluation du modèle horizontal conçu s'est faite au moyen de la mesure de deux paramètres : l'activité de butinage et le comportement hygiénique de la colonie. La mesure du comportement hygiénique a révélé un niveau de nettoyage surpassant le pourcentage caractéristique minimal recherché de 3 %. Et les activités de butinage se sont maintenues à des niveaux cadrant avec les colonies et les saisons. La ruche Iritié a donc offert un cadre de vie semblable à la ruche Langstroth. Il est donc approprié de conclure à une incidence positive de la ruche Iritié sur la colonie. Cette thèse est d'autant plus avérée que l'étude de son coût de fabrication et les prévisions relatives à la production (volume interne) tournent à l'avantage de la ruche Iritié, comparativement à d'autres ruches modernes (Langstroth et autres).

Néanmoins, il est souhaitable de faire une étude de l'aménagement du rucher, à cause de l'élongation horizontale de la ruche qui lui fait consommer plus d'espace que les ruches à cause de l'élongation verticale ou les autres ruches dites horizontales auxquelles des compartiments ne peuvent se rajouter progressivement. De même, la phase de pré-vulgarisation pourrait suggérer des études liées aux conditions d'utilisation de la ruche Iritié (température et humidité internes de la ruche).

## Bibliographie

- Alphandery E., 1931. *Traité complet d'apiculture*. Éditions Berger-Levrault, Paris.
- Balogoun G.B., Mensah G.A., 2004. *Productivité de divers types de ruches en milieu réel au sud du Bénin*. Apiculture (élevage des abeilles), 4<sup>e</sup> Atelier scientifique. Benin services apicoles (BESA). Cotonou, 10 p.

- Fert, 2012. *Le test de comportement hygiénique*. [http://www.apiservices.com/rfa/articles/test\\_comportement.htm](http://www.apiservices.com/rfa/articles/test_comportement.htm).
- Giovenazzo P., 2005. *Rapport Final Saisons 2003-2004. Projet Sélection des reines 09-2003*. Centre de Recherches en Sciences Animales de Deschambault (CRSAD), 26 p.
- Imdorf A., Gerig A., 1999. *Guide d'évaluation de la force d'une colonie*. Centre Suisse de Recherches Apicoles. Liebefeld, Suisse.
- Libis E., 1971. *L'apiculture pour tous*. Flammarion, Paris, 170 p.
- Philippe J.M., 1988. *Guide de l'apiculture*. 2<sup>ème</sup> Édition. Edisud, Aix-en-Provence, France.
- Tchuenguem Fohouo N.T., Messi J., Pauly A., 2002. L'activité de butinage des Apoïdes sauvages (*Hymenoptera Apoidea*) sur les fleurs de maïs à Yaoundé (Cameroun) et réflexions sur la pollinisation des graminées tropicales. *Biotechnologie, Agronomie, Société, Environnement*, **6**(2), 87-98.
- Warre, 2009. *Apiculture pour tous*. 12<sup>ème</sup> édition. <http://apiculture-populaire.com/apiculture-pour-tous/chap-00.html>
- Wikipedia, 2013. *Ruche* (la ruche moderne). <http://fr.wikipedia.org/wiki/Ruche>. Article sous licence *Creative Commons Attribution- ShareAlike 3.0 Unported License* ("CC BY-SA").



## Étude comparative de l'effet de l'extrait éthanolique des feuilles de *Tephrosia vogelii* et d'Alfapor® (Alpha-cyperméthrine) sur la tique *Amblyomma variegatum* chez le bovin Borgou

Dougnon Jacques T., Farougou S., Kpodékon T.M., Hounmanou G., Hounnonkpè D.,  
Université d'Abomey-Calavi, Bénin, E-mail : dougnonj@yahoo.fr

### Résumé

Les tiques sont responsables d'importantes pertes économiques en Afrique et dans le monde. La présente étude compare l'effet de l'extrait éthanolique de *Tephrosia vogelii* (Tv) et d'Alfapor® sur la tique *Amblyomma variegatum*. À cet effet, 50 taurillons Borgou de 1-2 ans ont été répartis en 10 lots de cinq, recevant différents traitements en application directe ou en pulvérisation. Il ressort que la zone anogénitale a été la région la plus infestée par *Amblyomma variegatum*; l'extrait éthanolique de Tv utilisé en application directe de 8 ml sur *Amblyomma variegatum* est efficace à 98,51 %; l'Alfapor® utilisé à 1 ml/l d'eau en pulvérisation est aussi efficace que l'extrait éthanolique de Tv en application directe à 8 ml sur *Amblyomma variegatum*.

### Comparative survey of acaricide activity of the leaves' ethanoïc extract of *Tephrosia vogelii* and Alfapor® (Alpha-cyperméthrine) on *Amblyomma variegatum* in Borgou horned cattle

Worldwidely, ticks are responsible for significant economic losses. The present study aim to compare the effect of the extract ethanoïc of *Tephrosia vogelii* (Tv) and Alfapor® on the tick *Amblyomma variegatum*. At this end, 50 Borgou bull-calf of 1-2 years old were divided into 10 groups of five. Group 0 (control): without treatment; Group 1: treated with Tv's extract in direct application, 4 ml/animal (one treatment: J0); Group 2: treated with Tv's extract in direct application, 4 ml/animal (two treatments: J0 and J7); Group 3: treated with Tv's extract in direct application: 8 ml/animal (one treatment); Group 4: treated with Tv's extract in direct application: 8 ml/animal (two treatments: J0 and J7); Group 5: treated with Tv's extract in pulverization, 4 ml per liter of water (one treatment: J0); Group 6: treated with Tv's extract in pulverization, 4 ml per liter of water (two treatments: J0 and J7); Group 7: treated with Tv's extract in pulverization, 8 ml per liter of water (only one treatment: J0); Group 8: treated with Tv's extract in pulverization, 8 ml per liter of water (two treatments: J0 and J7); Group 9: treated with Alfapor® in pulverization, 1 ml per liter of water (two treatments: J0 and J7). Results show that: i) the most infested body area is anogenital region, ii) Tv's ethanolic extract used in direct application of 8 ml on *Amblyomma variegatum* is 98,51% effective, iii) Alfapor® used 1ml/L water spray is as effective as the Tv's extract ethanolic used in direct application of 8 ml against *Amblyomma variegatum*.

### 1. Introduction

Dans la plupart des pays de l'Afrique occidentale comme le Bénin, l'élevage des ruminants constitue l'une des principales activités en production animale. Depuis 2004, le Bénin dispose d'un cheptel bovin estimé à 1 717 900 têtes. Ce cheptel connaît un accroissement d'un taux annuel d'environ 3,6% et est composé de taurins de races lagunaire, Borgou et Somba (31%), de zébus M'bororo, Goudali et Foulani blanc (7,7%), ainsi que des sujets issus de leur croisement (61,3%) (MAEP, 2004). Ces animaux offrent d'énormes avantages aux producteurs sur le plan zootechnique, économique et socio-culturel (Pamo et al., 2004). Malheureusement, leur productivité est encore faible, les nombreuses pathologies qui affectent leur croissance et leur reproduction constituant l'une des principales causes.



En effet, à l'instar des bovins des autres pays de l'Afrique occidentale, ceux du Bénin subissent diverses agressions parasitaires parmi lesquelles les tiques occupent une place de choix. Les maladies transmises par ces tiques sont nombreuses. Au nombre de ces maladies, on compte la cowdriose, l'anaplasmose, la théileriose, les babésioses. Les infestations par les tiques entraînent également l'apparition de la dermatophilose, une affection cutanée bactérienne plus ou moins grave (Frebling, 2005). En outre, chacune de ces maladies a des risques d'immunodépression et des impacts négatifs sur les paramètres biochimiques de l'organisme parasité.

Pour remédier à ces difficultés, des acaricides de synthèse sont utilisés dans les systèmes de production intensifs pour combattre et contrôler ces ectoparasites (Pamo et al., 2004). Cependant, les conséquences sur l'homme et sur son environnement, la présence de souches d'acariens résistants aux acaricides ainsi que le coût élevé des produits de bonne qualité sur les marchés locaux imposent la recherche de solutions alternatives (Wharton, 1976) d'où l'importance de la présente étude dont l'objectif est de comparer l'effet d'Alfapor® à celui de l'extrait éthanolique des feuilles de *Tephrosia vogelii* pour la réduction de la charge parasitaire due à *Amblyomma variegatum* chez le bovin Borgou.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Zone d'étude

Les travaux ont été effectués de mai à août 2012 sur la ferme d'élevage de Bétécoucou (FEB) située dans le Département des Collines, Commune de Dassa-Zoumé dans l'Arrondissement d'Akoffodjoulé au Bénin. Cette ferme couvre une superficie de 11 127 ha et est comprise entre les méridiens 2°20 et 2°28 de longitude Est et les parallèles 7°45 et 7°52 de latitude Nord. Le climat est de type intermédiaire entre le subéquatorial maritime à deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches et le climat soudano-guinéen à une saison sèche et une pluvieuse. La température moyenne annuelle est de 27,4 °C. Les plus basses températures varient entre 20 °C à 21 °C en décembre et janvier et les plus élevées varient de 35 °C à 37 °C entre février et mars. Les précipitations moyennes annuelles calculées sur une période de 10 ans présentent une moyenne de 1 072,95 mm.

### 2.2. Matériel animal et végétal

Le travail s'est déroulé sur 50 taurillons de race Borgou âgé de 1 à 2 ans tous infestés de façon naturelle par la tique *Amblyomma variegatum*. Le matériel végétal est la plante *Tephrosia vogelii*.

#### 2.2.1. Obtention de l'extrait éthanolique de *Tephrosia vogelii*

Les jeunes plantes de *Tephrosia vogelii* ont été récoltées dans les zones de Bohicon et de Kétou puis séchées à la température ambiante de laboratoire pendant 10 jours. Les feuilles séchées ont été réduites en poudre puis mélangées à de l'éthanol à raison de 50 g de poudre pour 500 ml d'éthanol.

#### 2.2.2. Groupes d'animaux expérimentaux et traitements

Le traitement s'est déroulé pendant deux semaines. Les animaux ont été regroupés en 10 lots de 5 bovins dont un lot témoin qui n'a pas reçu de traitement ; un lot de comparaison ayant été traité avec de l'Alfapor® et les autres avec l'extrait éthanolique de *Tephrosia vogelii*.

Lot 0 (témoin) : 5 bovins parasités par des tiques sans traitement avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* ni Alfapor®

Lot 1 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en application directe à raison de 4 ml/animal (un seul traitement : J0)

Lot 2 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en application directe à raison de 4 ml/animal (deux traitements à une semaine d'intervalle : J0 et J7)

Lot 3 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en application directe à raison de 8 ml/animal (un seul traitement : J0)

Lot 4 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en application directe à raison de 8 ml/animal (deux traitements à une semaine d'intervalle : J0 et J7)

Lot 5 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en pulvérisation à raison de 4 ml/l d'eau (un seul traitement : J0)

Lot 6 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en pulvérisation à raison de 4 ml/l d'eau (deux traitements à une semaine d'intervalle : J0 et J7)

Lot 7 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en pulvérisation à raison de 8 ml/L d'eau (un seul traitement : J0)

Lot 8 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en pulvérisation à raison de 8 ml/L d'eau (deux traitements à une semaine d'intervalle : J0 et J7)

Lot 9 : 5 bovins parasités traités avec de Alfapor® en pulvérisation à raison de 1 ml/l d'eau (deux traitements à une semaine d'intervalle : J0 et J7)

Au total, 2 traitements ont été réalisés à 7 jours d'intervalles au niveau des lots 2, 4, 6, 8, 9 et un seul traitement pour les lots 1, 3, 5, 7.

Le comptage des tiques a pris en compte cinq régions à savoir : fanon, périnée, scrotum, oreilles et autres régions (chignon, membres, conque auriculaire, encolure, échine, toupillon de la queue, flanc, abdomen).

### 2.3. Méthodes d'analyses statistiques

Le nombre de tiques a été enregistré par région corporelle, par animal et par lot. La procédure Proc Freq du logiciel SAS (Statistical Analysis System, 1996) a été utilisée pour calculer la fréquence des tiques mortes par région corporelle et par lot. Le test de Z a été utilisé pour comparer les différentes fréquences deux à deux. L'intervalle de confiance (IC) de chaque fréquence a été calculé selon la formule :

$$IC = P \pm 1,9 \sqrt{(pq)/n}$$

Avec P = la fréquence des tiques ; p = la probabilité d'avoir une tique ; q = la probabilité d'avoir l'évènement contraire de p ou (1-p) ; n = la taille de l'échantillon.

## 3. Résultats

### 3.1. Taux d'infestation des bovins par *Amblyomma variegatum* en fonction des régions corporelles

Le périnée présente le plus fort taux d'infestation (35,31%) avec une différence significative par rapport à celui du scrotum (26,92%) et du fanon (24,89%) ( $P < 0,05$ ). Quant aux autres régions, elles sont faiblement infestées par *Amblyomma variegatum* (Tableau 1).

**Tableau 1.** Taux d'infestation des animaux expérimentés par région corporelle.

Région corporelle	Nombre de tiques	Taux d'infestation (%)
Fanon	712,00	24,89 <sup>b</sup>
Oreilles	123,00	4,30 <sup>c</sup>
Périnée	1 010,00	35,31 <sup>a</sup>
Scrotum	770,00	26,92 <sup>b</sup>
Autres	245,00	8,56 <sup>c</sup>
<b>Total</b>	<b>2 860,00</b>	<b>100,00</b>

Les chiffres portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différents entre les régions ( $P < 0,05$ ).

### 3.2. Évolution du taux de mortalité des tiques

Au niveau du lot 0 qui est le lot témoin qui n'a reçu aucun traitement, le taux de mortalité des tiques est nul et décroît au fil des jours. Le nombre de tiques augmente progressivement à l'inverse des lots traités avec Alfapor® ou avec l'extrait éthanolique de *Tephrosia vogelii*. Les taux de mortalité des tiques au niveau du lot 1 entre les jours 2 et 7 ont varié de 59,49 % à 87,76 %; 84,89 % à 100 % au niveau du lot 9 ( $P < 0,05$ ). Les taux de mortalité les plus élevés des tiques ont été enregistrés au jour 14 (Tableau 2).

**Tableau 2.** Taux de mortalité des tiques.

Lots	J0	J2		J7		J9		J14	
		%	IC	%	IC	%	IC	%	IC
0	208	-8,65 <sup>a</sup>	3,82	-10,58 <sup>a</sup>	4,18	-12,98 <sup>a</sup>	4,57	-21,63 <sup>b</sup>	5,60
1	237	59,49 <sup>a</sup>	6,25	87,76 <sup>b</sup>	4,17				
2	357	49,58 <sup>a</sup>	5,19	68,91 <sup>b</sup>	4,80	88,52 <sup>c</sup>	3,31	96,08 <sup>d</sup>	2,01
3	259	49,42 <sup>a</sup>	6,09	79,15 <sup>b</sup>	4,95				
4	336	61,31 <sup>a</sup>	5,21	82,14 <sup>b</sup>	4,10	91,37 <sup>c</sup>	3,00	98,51 <sup>d</sup>	1,29
5	390	64,62 <sup>a</sup>	4,75	88,97 <sup>b</sup>	3,11				
6	372	45,70 <sup>a</sup>	5,06	75,27 <sup>b</sup>	4,38	89,78 <sup>c</sup>	3,08	97,85 <sup>d</sup>	1,47
7	233	38,20 <sup>a</sup>	6,24	78,54 <sup>b</sup>	5,27				
8	190	51,05 <sup>a</sup>	7,11	84,21 <sup>b</sup>	5,18	95,79 <sup>c</sup>	2,86	98,42 <sup>c</sup>	1,77
9	278	66,55 <sup>a</sup>	5,55	84,89 <sup>b</sup>	4,21	98,56 <sup>c</sup>	1,40	100,00 <sup>c</sup>	0,00

Les chiffres portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différents entre les régions ( $P < 0,05$ )

Légende :

IC = Indice de Confiance

lot 0 (témoin) : Aucun traitement (ni l'extrait de *Tephrosia vogelii* ni Alfapor®)

lot 1 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en application directe à raison de 4 ml/animal (un seul traitement : J0)

lot 2 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en application directe à raison de 4 ml/animal (deux traitements à une semaine d'intervalle : J0 et J7)

lot 3 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en application directe à raison de 8 ml/animal (un seul traitement : J0)

lot 4 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en application directe à raison de 8 ml/animal (deux traitements à une semaine d'intervalle : J0 et J7)

lot 5 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en pulvérisation à raison de 4 ml/L d'eau (un seul traitement : J0)

lot 6 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en pulvérisation à raison de 4 ml/L d'eau (deux traitements à une semaine d'intervalle : J0 et J7)

lot 7 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en pulvérisation à raison de 8 ml/L d'eau (un seul traitement : J0)

lot 8 : 5 bovins parasités traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* en pulvérisation à raison de 8 ml/L d'eau (deux traitements à une semaine d'intervalle : J0 et J7)

lot 9 : 5 bovins parasités traités avec de Alfapor® en pulvérisation à raison de 1 ml/L d'eau (deux traitements à une semaine d'intervalle : J0 et J7).

### 3.3. Comparaison des effets de l'extrait éthanolique de *Tephrosia vogelii* et de Alfapor spray & Dip® sur *Amblyomma variegatum*

Au jour 7 qui constitue le dernier jour de comptage avant le deuxième traitement, le lot 5 ayant reçu un traitement unique de l'extrait de *Tephrosia vogelii* à raison de 4 ml/l d'eau en pulvérisation présente le plus fort taux de mortalité des tiques (88,97 %) avec une différence significative par rapport aux autres lots ( $P < 0,05$ ). Il s'en suit les lots : 1 (4 ml de l'extrait de *Tephrosia vogelii* en application directe), 9 (1 ml/l d'eau d'Alfapor en pulvérisation) et 8

(8 ml/l d'eau de l'extrait de *Tephrosia vogelii* en pulvérisation) avec des mortalités respectives de 87,76 %; 84,89 % et 84,21 %. Ceux-ci ne présentent aucune différence significative entre eux ( $P > 0,05$ ). Au jour 14, le lot 9 (1 ml/l d'eau d'Alfapor en pulvérisation) vient en tête avec une mortalité de 100 % des tiques et présente une différence significative à  $P < 0,05$  par rapport au lot 4 (8 ml de l'extrait de *Tephrosia vogelii* en application directe) qui le suit avec un taux de mortalité de 98,51 %. Ce lot présente à son tour une différence significative par rapport aux lots 6 et 8 (respectivement 4 ml/l et 8 ml/l d'eau en pulvérisation de l'extrait de *Tephrosia vogelii*) ( $P < 0,05$ ). Alfapor® a donné le meilleur taux de mortalité qui est 100 % suivi de l'extrait de *Tephrosia vogelii* à 8 ml en application directe (98,51 %) sur *Amblyomma variegatum* au 14<sup>e</sup> jour, donc le dernier jour de l'expérience (Tableau 3).

**Tableau 3.** Effets comparatifs de l'extrait éthanolique de *Tephrosia vogelii* et de Alfapor spray & Dip® sur *Amblyomma variegatum*.

Lots	J0	J2		J7		J9		J14	
		%	IC	%	IC	%	IC	%	IC
0	208	-8,65 <sup>d</sup>	3,82	-10,58 <sup>d</sup>	4,18	-12,98 <sup>c</sup>	4,57	-21,63 <sup>d</sup>	5,60
1	237	59,49 <sup>ab</sup>	6,25	87,76 <sup>ab</sup>	4,17				
2	357	49,58 <sup>b</sup>	5,19	68,91 <sup>c</sup>	4,80	88,52 <sup>b</sup>	3,31	96,08 <sup>c</sup>	2,01
3	259	49,42 <sup>b</sup>	6,09	79,15 <sup>bc</sup>	4,95				
4	336	61,31 <sup>a</sup>	5,21	82,14 <sup>b</sup>	4,10	91,3 <sup>b</sup>	3,00	98,51 <sup>b</sup>	1,29
5	390	64,62 <sup>a</sup>	4,75	88,97 <sup>a</sup>	3,11				
6	372	45,70 <sup>bc</sup>	5,06	75,27 <sup>c</sup>	4,38	89,78 <sup>b</sup>	3,08	97,85 <sup>bc</sup>	1,47
7	233	38,20 <sup>c</sup>	6,24	78,54 <sup>bc</sup>	5,27				
8	190	51,05 <sup>b</sup>	7,11	84,21 <sup>ab</sup>	5,18	95,79 <sup>ab</sup>	2,86	98,42 <sup>bc</sup>	1,77
9	278	66,55 <sup>a</sup>	5,55	84,89 <sup>ab</sup>	4,21	98,56 <sup>a</sup>	1,40	100,00 <sup>a</sup>	0,00

À l'intérieur des colonnes %, les chiffres portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différents entre les lots ( $P < 0,05$ ).

Légende : voir tableau 2.

## 4. Discussion

### 4.1. Répartition d'*Amblyomma variegatum* en fonction des régions corporelles des bovins

La quantité de tiques dénombrées a varié significativement entre les régions corporelles des bovins avec la région ano-génitale ayant la charge parasitaire la plus élevée. Des résultats similaires ont été notifiés par Farougou et al. (2006) qui ont expliqué que les sites préférentiels de fixation des tiques sont les régions ano-génitale et abdominale. De pareilles observations ont été faites par Achukwi et al. (1997) qui ont rapporté que la zone ventro-génitale était la plus infestée chez les bovins Namchi et Goudali de Ngaoundéré au Cameroun par *Amblyomma variegatum*. Ces résultats sont par ailleurs conformes à ceux de Gueye et al. (1993) sur les tiques et hémoparasites du bétail au Sénégal. Les tiques identifient donc des régions préférentielles pour leur fixation; cette situation pourrait s'expliquer par le degré d'irrigation sanguine de la partie corporelle concernée.

### 4.2. Effets de l'extrait de *Tephrosia vogelii* sur *Amblyomma variegatum*

La charge parasitaire des animaux traités avec l'extrait de *Tephrosia vogelii* a connu une chute progressive au cours de l'expérience. C'est ce qui explique l'augmentation du taux de mortalité des tiques chez ces bovins. Ces résultats sont semblables à ceux obtenus par Kalume et al. (2012) qui ont rapporté la toxicité de l'extrait éthanolique de *T. vogelii* sur la tique

*Rhipicephalus appendiculatus* à une dose de 2,5-5 mg/ml en République Démocratique du Congo. Aussi Gadzirayi et al. (2009), dans leur étude sur l'utilisation de *T. vogelii* dans le contrôle des tiques des vaches laitières, ont stipulé que du 1<sup>er</sup> au 5<sup>e</sup> mois de leur expérience, il y a un déclin de la charge de tiques à raison de 50 g de *T. vogelii* par 100-200 ml d'eau. Matovu et Oliva (2007) ont, quant à eux, démontré dans leur étude sur l'activité acaricide des extraits de *Tephrosia vogelii* sur les nymphes et adultes de tiques en Ouganda, que les extraits de *Tephrosia vogelii* avec le chloroforme, le méthanol (alcool), l'éther de pétrole et l'eau peuvent être efficacement utilisés sur le terrain pour le contrôle des tiques de tous genres. Par ailleurs l'effet tiquicide de cette plante en solution aqueuse avait été signalé dans le bulletin trimestriel de liaison et d'information du Centre de Validation des Pratiques et Savoirs Locaux en 2004 et dans l'ouvrage «Que faire sans vétérinaire» publié par Forse (2002). De même l'activité insecticide de cette plante a été mise en œuvre par Munyuli et Mushambanyi (2003) dans la lutte contre les coléoptères ravageurs dont les bruches, les charançons, le grand capucin du grain et la lucite en République Démocratique du Congo.

En nous référant à la composition de cette plante, on peut dire que l'activité acaricide de *Tephrosia vogelii* est probablement lié à la présence de différents composés rétinoides (roténone et déguéline) contenus dans cette plante et qui sont connus pour leur activité acaricide et insecticide. Ainsi selon Kalume et al. (2012), l'activité acaricide des feuilles de *T. vogelii* pourrait être due à sa teneur élevée en déguéline. Mais le mode d'action exact de la déguéline sur les tiques reste mal élucidé et devrait être étudié. Selon ces mêmes auteurs, la roténone qui est également présente dans la plante agit à des doses très faibles en bloquant la voie respiratoire mitochondriale de la cible ravageuse grâce à l'inhibition spécifique de l'oxydation du NADH en ATP. Cela conduit à une réduction progressive de la conduction nerveuse et la mort du parasite.

Par ailleurs, l'extrait de la plante a aussi maximisé son effet selon les travaux de Matovu et Olida (2007) qui ont notifié que les feuilles de *Tephrosia vogelii* collectées en Ouganda accumulent des quantités relativement élevées d'ingrédients actifs par rapport aux racines.

En outre, les bovins du lot témoin n'ayant reçu aucun traitement acaricide pendant l'expérience ont connu une augmentation progressive du nombre de tiques. La charge parasitaire s'est surtout accentuée chez ces bovins surtout que l'étude s'est déroulée pendant la saison pluvieuse c'est-à-dire pendant le mois de juin. Ces résultats sont conformes à ceux de Farougou et al. (2006) qui ont expliqué qu'il existe une corrélation linéaire positive entre la pluviométrie et le nombre de tiques récoltées sur les bovins au Bénin. De pareilles observations ont été faites par Achukwi et al. (1997) dans l'étude comparative de l'infestation des bovins Namchi et Goudali de Ngaoundéré par la tique adulte *Amblyomma variegatum*. Selon les études antérieures sur la dynamique des populations d'*Amblyomma variegatum* adultes sur le zébu Goudali sur le plateau de l'Adamaoua au Cameroun par Stachurski (1993), le nombre de tiques des animaux connaît une augmentation en début de saison des pluies.

#### 4.3. Effets comparatifs de *Tephrosia vogelii* et d'Alfapor® sur *Amblyomma variegatum*

D'après les résultats de la présente étude, on constate que l'extrait éthanolique de *Tephrosia vogelii* a réellement un effet insecticide sur *Amblyomma variegatum*. En effet, l'activité acaricide de cette plante a été comparée à celle d'Alfapor® (Alpha-cyperméthrine) qui est un acaricide de synthèse utilisé par les éleveurs au Bénin. Les résultats ont montré que l'effet de *Tephrosia vogelii* à 8 ml de l'extrait en application directe sur *Amblyomma variegatum* est semblable à celui d'Alfapor® (1 ml/L d'eau en pulvérisation). *Tephrosia vogelii* a donc un effet acaricide similaire à celui des autres acaricides de synthèse comme Alfapor® dans la présente étude, Milbitaz® dans les travaux de Kalume et al. (2012) et Triatix D® dans les

travaux de Gadzirayi et al. (2009). Ceci suggère que *Tephrosia vogelii* pourrait représenter une alternative à l'utilisation de produits synthétiques qui sont généralement coûteux et difficiles à obtenir dans de nombreuses régions du monde.

## 5. Conclusion

À l'issue de cette étude, il ressort que la tique *Amblyomma variegatum* colonise effectivement plusieurs régions corporelles des bovins. Mais la région ano-génitale comparée aux autres régions est plus infestée par cette tique. Par ailleurs, l'effet acaricide de l'extrait éthanolique des feuilles de *Tephrosia vogelii* a été prouvé sur *Amblyomma variegatum*. L'efficacité de cet extrait a été démontrée quand il est appliqué directement sur les tiques à raison de 8 ml. À cette dose, cet extrait pourrait valablement remplacer le produit standard Alfapor® couramment utilisé à la dose de 1 ml/L d'eau en pulvérisation.

## Bibliographie

- Achukwi M.D. et al., 1997. Susceptibility of the Namchi and Kapsiki cattle of Cameroon to trypanosome infection. *Tropical Animal Health and Production*, **29**, 219-226.
- FAO, 2007. *Tephrosia vogelii*. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Rome.
- Farougou S., Kpodékon M., Tchabodé D.M., Youssao A.K.I., Boko C., 2006. Abondance saisonnière des tiques (Acari : Ixodidae) parasites des bovins dans la zone soudanienne du Bénin : cas des départements de l'Atacora et de la Donga. *Revue de Médecine Vétérinaire*, **158**(12), 627-632.
- Forse B., Meyer C., 2002. *Que faire sans vétérinaire*. CIRAD/CTA/Karthala, Montpellier, France.
- Frebling J.R., 2005. *Prévalences et intensités des infestations des bovins de marie-galante par Amblyomma variegatum : conséquences pour les programmes d'éradication dans les Antilles françaises*. Thèse Médecine Vétérinaire, Toulouse, France, 77 p.
- Gadzirayi C.T., Mutandwa E., Mwale M., Chindundu T., 2009. Utilization of *Tephrosia vogelii* in controlling ticks in dairy cows by small-scale commercial farmers in Zimbabwe. *African Journal of Biotechnology*, **8**(17), 4134-4136.
- Gueye A., Mbengue M., Diouf A., Sonko M.L., 1993. Tiques et hématoparasitoses du bétail au Sénégal. V. La zone nord-guinéenne. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, **46**, 551-561.
- Kalumé M.K. et al., 2012. Rotenoid content and *in vitro* acaricidal activity of *Tephrosia vogelii* leaf extract on the tick *Rhipicephalus appendiculatus*. *Veterinary Parasitology*, **190**, 204-209.
- MAEP, 2004. *Rapport annuel d'activité*. Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la Pêche. Cotonou.
- Matovu H., Olila D., 2007. Acaricidal activity of *Tephrosia vogelii* Extracts on Nymph and Adult Ticks. *International Journal of Tropical Medicine*, **2**, 83-88.
- Munyuli B., Mushambanyi T., 2003. Effet de différentes poudres végétales sur l'infestation des semences de légumineuses et de céréales au cours de la conservation au Kivu (République Démocratique du Congo). *Cahiers Agricultures*, **12**(1), 23-31.
- Pamo T.E. et al., 2004. Composition chimique et effet acaricide des huiles essentielles des feuilles de *Chromolaena odorata* (L.) King and Robins et d'*Eucalyptus saligna* Smith. sur les tiques (*Rhipicephalus lunulatus* Neumann) de la chèvre naine de Guinée dans l'Ouest-Cameroun. *Livestock Research for Rural Development*, **16**(9).
- Stachurski F., 1993. Variability of cattle infestation by *Amblyomma variegatum* and its possible utilization for tick control. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, **46**, 341-348.
- Wharton R.H., 1976. Les maladies du bétail transmises par les tiques et leurs vecteurs : résistance aux acaricides. *Revue Mondiale de Zootechnie*, **20**, 8-15.





## Changes in amylase activity, hot-paste viscosity and carbohydrates during natural fermentation of sweet potato (*Ipomoea batatas*)

Yadang Germaine, Food and Nutrition Research Centre, Yaounde, Cameroon,

E-mail: yadanggermaine@yahoo.fr

Mbome Israël Lape, Food and Nutrition Research Centre, Yaounde, Cameroon

Ndjouenkeu Robert, University of Ngaoundere, Cameroon

### Abstract

In order to improve the sensorial qualities of sweet potato for use in infant food formulation, tuber slices were wet-fermented for 5 days and aliquots were collected and treated for various analyses. Acidification during fermentation resulted in pH drop in slices from 6.3 to 3.9 during the process. Amylase activity of sample extracts fell from about 2,400 units per 100 g fresh weight of slices to about 280 units. Hot-paste viscosity of flour from unfermented slices displayed a typical profile of amylase-rich flours, with values staying at 0.3 Pa.s up to 20% flour concentration in hot water and then climbing gradually to 4.3 Pa.s at 33% flour concentration. Upon fermentation, and for 10% flour concentration, the hot-paste viscosity increased from about 0.3 Pa.s on day 0 to 24 Pa.s on day 5 of fermentation, in line with the loss of amylase activity. Total 80% alcohol-soluble sugars, mostly made of sucrose (90%), fell abruptly and significantly from 12.66 g/100 g dry basis at the start of fermentation to 2.10 g/100 g on day 5, reflecting their use by fermentation microorganisms as substrates for their multiplication and growth. There was a consequential increase in starch levels from 76.56 g/100 g to 91.25 g/100g during the same period. Maltodextrins remained stable, while crude fibre decreased slightly. Fermented flours were void of amylase activity and the sweetness of sweet potato. They were of finer texture than the unfermented flour and produced smooth hot-water gruels with attractive cream colour. Their use for making low viscosity semi-solid gruels for young infants could be achieved by mixing them with the amylase-rich unfermented flour, or any other amylase-rich source, before or during cooking. They could be quite appealing for preparing some African dishes like *fufu*, by virtue of their sweetless taste.

### Modification de l'activité amylasique, de la viscosité et des hydrates de carbone au cours de la fermentation naturelle de la patate douce (*Ipomoea batatas*)

Afin d'améliorer ses qualités organoleptiques pour la formulation des aliments infantiles, des tranches de patate douce ont subi une fermentation naturelle de 5 jours et des aliquotes sont collectés puis traités pour diverses analyses. Le pH des tranches de patate en fermentation montre une baisse de 6,3 à 3,9. L'activité amylasique décroît de 2400 à 280 unités/100 g de poids frais. La bouillie faite avec la farine non fermentée montre un profil de viscosité typique des farines riches en amylase, avec des valeurs de 0,3 Pa.s pour une concentration de farine de 20% puis s'élevant progressivement jusqu'à 4,3 Pa.s (33% MS). Après la fermentation, la viscosité passe à 24 Pa.s au jour 5 avec la baisse de l'activité amylasique. Les glucides solubles totaux (environ 90% de saccharose), ont chuté de façon significative de 12,66 g/100 g de matière sèche au début de la fermentation à 2,10 g/100 g à la fin, en raison de leur utilisation par des micro-organismes en tant que substrats pour leur multiplication et leur croissance. Par contre, il est noté une augmentation corrélative du taux d'amidon de 76,56 g/100 g à 91,25 g/100 g au cours de la fermentation. Les teneurs en maltodextrines sont restées stables, tandis que les fibres brutes ont légèrement diminué. Contrairement à la farine non fermentée, les farines fermentées produisent des bouillies de texture douce et ayant une couleur crème très attrayante. Leur utilisation pour la fabrication des bouillies infantiles à faible viscosité pourrait être réalisée en les mélangeant avec la farine non fermentée (riche en amylase) ou toute autre source amylasique, avant ou pendant la cuisson. Elles pourraient également entrer dans la préparation de certains plats africains comme le *fufu* en raison de leur goût non sucré.

## 1. Introduction

Sweet potato (*Ipomoea batatas*) is an important source of food and energy for millions of people in the tropics where they are grown continuously throughout the year (Huang et al., 2010). It is cultivated for its tubers made up of 80% starch (dry weight basis) and other carbohydrates (Kim et al., 1995; Hagenimana et al., 1998; Huang et al., 2007) and have a high sucrose content which makes them useful in many food preparations (Sun et al., 2012). They are an excellent source of vitamin A and are rich in vitamin C and iron (Collins, 1981). They provide a significant quantity of high quality protein the content of which has been found to range from about 2 to 10% dry basis by some authors (Purcell et al., 1972) and by recent studies in our laboratory of 20 cultivars from Cameroon (unpublished results).

In the tropics, tubers are usually eaten straight from the farms after boiling, roasting or frying, and are occasionally peeled, cut into slices, dried into chips and grounded into flour. In industrialized countries, they are canned or processed into flakes and used for a variety of food products. Sweet potato tubers are highly cherished by children because of their sweet taste and are known to be rich in amylase enzyme. Both these qualities could make them suitable candidates for use as a base for formulation of flour for infant complementary feeding. Such flour could be obtained directly as indicated above. Fermenting the tubers before processing into flour could bring some other benefits to the product. Natural lactic acid fermentation is widely used in developing countries of Africa and elsewhere for food processing and conservation in general (Sanni, 1993), and for processing of cereals and tubers used for preparing gruels for infants (Adeyemi, 1988). The process is known to improve the organoleptic quality of foods (Daeschel et al., 1987) as well as prolong their shelf life. It is characterized by the production of organic acids (dominantly lactic), lowering of pH (Odunfa, 1985; Nout, 1993) and the release by lactic acid bacteria of minor quantities of  $H_2O_2$  and  $CO_2$  (Spelhaug, Harlander, 1989) which stabilise the food product through their antimicrobial effects. To date, many studies have been done on the cooking and storage of sweet potato, but very little on its fermentation.

In this paper, we report the changes in alpha-amylase activity, hot-paste viscosity and carbohydrates during natural fermentation of sweet potato tubers in view of making flour for use as a base for infant complementary food formulation.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Sweet potato sample

Fresh sweet potato sample (IRAD 1112 cultivar) was harvested in Dang, a small locality in the Adamawa Region in Cameroon, transported within twenty four hours to our laboratory in Yaounde and processed immediately upon arrival. The cultivar has a reproductive cycle of 2 to 3 months and produces long oval tubers with cream skin and milky yellow flesh.

### 2.2. Fermentation

Tubers were washed, hand-peeled, cut into thin slices of 3 mm thick using a machine (Crypto Peerless), rinsed with tap water and partitioned into six batches. The first was directly dried at 50 °C in an air-convection to water content below 10%, while the other five batches were steeped separately in water in plastic basins, covered with fine-mesh cloth and left to ferment at room temperature (25 °C). Every 24 hours for five days, a batch was sacrificed and aliquots of steep water and slices were taken for pH, titratable acidity and dry weight measurements. The remaining slices were dried as above. Dried slices of unfermented and fermented batches were ground separately, passed through a 250 mm sieve and kept in air-tight containers until analyses.

### 2.3. pH and titratable acidity determinations

The pH of steep water was measured directly with a Hanna microcomputer pH meter (model HI 8424), while slices (30 g) were first homogenized with 100 ml deionised water and filtered before measurement. Titratable acidity determinations in steep waters and homogenized slices filtrates were done by titrimetry using 0.1 N NaOH solution and phenolphthalein as end point indicator (AOAC, 1990). Titratable acidity contents were computed and expressed as lactic acid equivalence.

### 2.4. Amylase activity determination

Amylase activity of sweet potato extract in a 0.1 M pH 6.2 citrate-phosphate buffer was measured following hydrolysis of 0.8 ml of a 1% soluble starch solution by 0.1 ml of the extract for different incubation periods at 30 °C. Starch content was determined before and after enzyme hydrolysis according to the method of Oteng-Gyang and Anuonye (1987) using potassium iodide/iodine solution. Hydrolysed starch was estimated by difference, and amylase activity determined. A unit of activity was defined as the amount of amylase required to hydrolyse 10 mg of starch in 30 minutes at 30 °C.

### 2.5. Hot-paste viscosity measurement

A known weight of flour was mixed into slurry with cold deionised water in a 250 ml beaker, and boiling water was then added to a final content weight of 100 g. The whole was cooked for 7 minutes on a hot plate under constant stirring and the weight readjusted to 100 g by addition of boiling water to compensate for evaporation. The resulting gruel was homogenized and placed in a 45 °C water bath to stabilise, and an aliquot was poured into a thermostated container for viscosity determination using a Haake VT-02 viscotester. Aliquots were also taken for total solids (dry matter) determination.

### 2.6. Chemical analyses

All chemical analyses were done on aliquots of dried powdered and sieved samples. *Total solids content* was determined by drying sample aliquots in a 107 °C oven to constant weight. *Total soluble sugars* were determined by the anthron colorimetric method (Loewus, 1952) on hot 80% alcohol extracts of samples. Individual sugars were analysed in the extracts by a two-step colorimetric method (Blakeney, Mutton, 1980) based on the determination of reducing sugars and sucrose before and after invertase digestion using *p*-hydroxybenzoic acid hydrazide (PAHBAH) in one experiment, and then fructose and glucose using 2-thiobarbituric acid in another experiment. The 80% alcohol-insoluble residues (obtained by centrifugation) were further refluxed with 40% alcohol, centrifuged and the supernatant used for analysis of maltodextrins by the anthron method. Starch content was determined on the resulting residue by the enzymatic method of Thivend et al. (1965). Dietary fiber was determined according to the method of Wolff (1968) which measures cellulose, lignin and hemicelluloses.

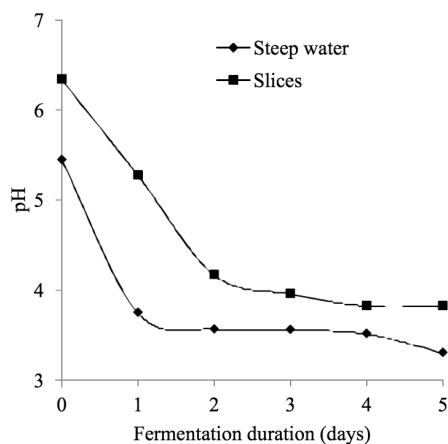
### 2.7. Statistical analysis

All chemical analyses were done in triplicates. Statistical analyses of data were performed using Stratgraphic 5.1 software. Paired comparison between groups for the different parameters was done by the Anova and Duncan tests, and the significance of values was defined at the 5% level.

### 3. Results and discussion

#### 3.1. pH

Figure 1 shows the evolution of pH of steep water and sweet potato slices during five days of natural fermentation. The trends for both are the same, showing a steep drop of pH from days 0 to 2 and a gradual drop thereafter to day 5. The overall pH drop is from 5.5 to 3.5 for steep water and 6.3 to 3.9 for slices. Lower pH values for steep water are indicative of greater mobility and activity of fermentation microorganisms as they feed on the surface carbohydrates of potato slices with consequential release of organic acids. The pH variations for slices is similar to those obtained by some authors during steep fermentation of other tubers, namely yams (Medoua et al., 2008) and cassava (Brauman et al., 1995).



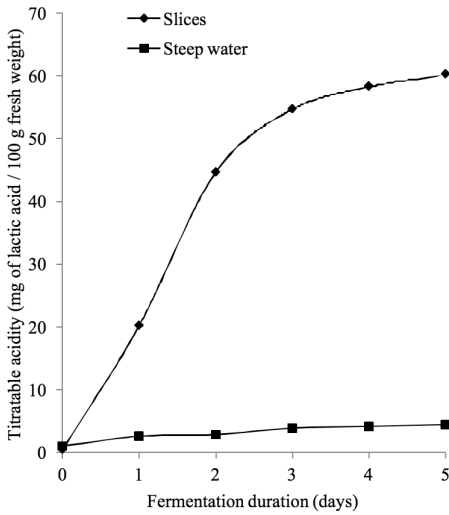
**Figure 1.** Variations in pH during natural wet fermentation of sweet potato.

#### 3.2. Titratable acidity

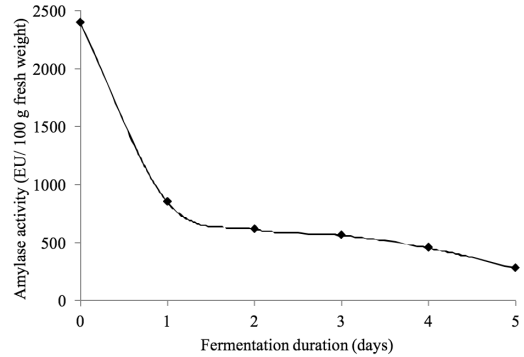
Variations in titratable acidity during wet fermentation of the sweet potato slices are shown in figure 2. The values increase much faster for steep water from about 25 mg lactic acid equivalence/100 g of water on day 1 to 60 mg/100 g on day 5, compared to an increase of only 0.25 to 0.50 mg/100 g of fresh slices for the same period. Our results are similar to those obtained by Oguntoyinbo, Dodd (2010) during four days spontaneous fermentation of cassava. As previously mentioned faster increase in steep water titratable acidity reflects greater microbial activity upon disintegration and leaching of sweet potato material into the medium. Microbial growth inside the solid and rigid structure of the slices is much more limited, hence leading to lower titratable acidity values.

#### 3.3. Amylase activity

Amylase activity of extracts of fresh and fermented sweet potato slices were determined and computed as enzyme activity units (EU) per 100 g fresh weight of slices. The results (Figure 3) show that the activity drops suddenly from about 2,400 EU/100 g at the start of fermentation to about 850 EU/100 g after 1 day of fermentation, and then to 280 EU/100 g on day 5. Enzyme inactivation could be due to pH drop in sweet potato slices from 6.3 at the start of fermentation to 5.6 and lower on days 1 to 5 of fermentation (Figure 1). Thus, the amylase seems quite sensitive to acidification by losing up to 65% of its activity for only a 0.7 pH drop. Our results are similar to those of Kéléké et al. (1995) where amylase activity was completely lost within 36 hours of wet fermentation of cassava tubers.



**Figure 2.** Variations in titratable acidity during natural wet fermentation of sweet potato.



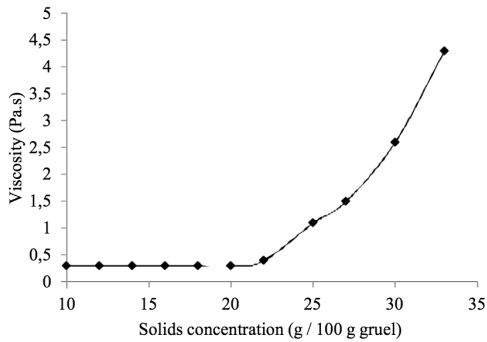
**Figure 3.** Changes in amylase activity during sweet potato fermentation.

### 3.4. Hot-paste viscosity

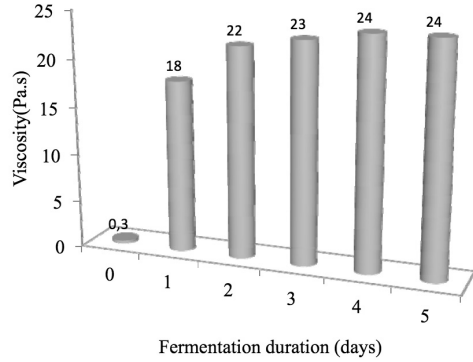
Hot-paste viscosity was measured at 45°C at solids (flour) concentrations of 10% and above. The viscosity profile for natural unfermented sweet potato sample is presented in figure 4. The values are below 0.3 Pa.s (lower range of viscotester) up to 20% solids concentration and then climb steadily to 4.3 Pa.s at 33% concentration. The curve is typical of flours containing alpha-amylase enzyme (Gopaldas et al., 1986; Maung et al., 1995) or that have undergone severe heat-moisture treatment such as drum-drying or extrusion cooking which break down starch and reduce its water-holding capacity. A histogram presentation of the viscosities of fermented flours slurries at 10% concentration is shown in figure 5. The values range from 18 to 24 Pa.s from days 1 to 5 of fermentation, and represent 60 to 80 fold increase compared to that of the natural unfermented tuber (day 0). The sudden rise in viscosity after a day of fermentation could be due to the drop in amylase activity observed above or the polymerization of carbohydrates into complex bulking structures as a result of acidification. In this connection, neutralisation of day 2 fermented flour slurry to pH 6.3 (as for unfermented flour) before cooking into porridge did not result in any reduction in viscosity. However, mixing of unfermented and fermented flour produced reduction in viscosity with increasing proportion of the former. Our results are compatible with those of other authors who observed viscosity increases during *ogi* fermentation from maize (Osungbaro, 1990) and during wet fermentation of cassava (Mlingi, 1998). However, the latter author noticed a decrease in viscosity when the cassava was air-fermented.

### 3.5. Changes in carbohydrates

Variations in starch, maltodextrins (soluble in 40% ethanol), simple sugars (soluble in 80% ethanol) and crude fibre contents during sweet potato wet fermentation are presented in table 1. Total sugars concentration falls abruptly and significantly from 12.66 g/100 g dry basis at the start of fermentation to 3.48 g/100 g on day 1, and then gently thereafter. This is surely as a result of the decrease in sucrose, the dominant simple sugar, from 11.42 g/100 g to 1.67 g/100 g for the same period. Free fructose and free glucose levels follow the same



**Figure 4.** Hot-paste viscosity of unfermented sweet potato flour versus solids concentration.



**Figure 5.** Changes in hot-paste viscosity during fermentation of sweet potato.

trend. Reduction in the concentrations of these sugars is certainly due to their consumption by the fermentation microorganisms as substrates for their multiplication and growth. There is a consequential increase in starch levels in the overall sweet potato material from 76.56 g/100 g at the start of fermentation to 86.49 on day 1 and then to 91.25 g/100 g on day 5. The concentration of maltodextrins remains virtually unchanged between 3.6 and 3.8 g/100 g throughout fermentation, while that of crude fibre drops significantly from 1.24 to 0.86 g/100 g on day 2 and then increases gently to about 1.03 g/100 g on day 5.

**Table 1.** Carbohydrate changes during wet fermentation of sweet potato (g/100 g dry basis).

Fermentation duration (days)	Starch	Maltodextrins	Sucrose	Total simple sugars	Free fructose	Free glucose	Reducing sugars	Crude fibre
0	76.57a	3.62b	11.42d	12.66c	1.03d	0.53c	1.73e	1.24b
1	87.49b	3.67a	1.67c	3.48ab	0.62c	0.25b	0.44c	0.90a
2	89.65ab	3.72a	1.25c	2.77a	0.07b	0.05a	0.34b	0.86a
3	90.05b	3.73a	0.81b	2.24a	0.01a	Nd	0.08a	0.87a
4	90.56b	3.74a	0.79b	2.11a	0.01a	Nd	0.05	1.02ab
5	91.25c	3.87a	0.55a	2.10a	0.01a	Nd	0.03a	1.03ab

Values in the same column with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ )  
Nd = below detection limit

## 4. Conclusion

The fermentation of sweet potato was intended to improve its organoleptic quality and confer it with long shelf life and some protective properties in view of its use as a base for infant complementary food preparation. Flours from fermented tubers are void of the sweetness of sweet potato. They are of finer texture than the unfermented flour and produce smooth hot-water gruels with attractive cream colour. However, fermentation resulted in the loss of amylase activity which is essential for obtaining low viscosity semi-solid gruels suitable for young infants. This could be remedied by mixing appropriate amounts of the fermented flour with the amylase-rich unfermented flour, or any other amylase-rich source, before or during cooking into gruel. Flour from fermented sweet potato could itself offer a new choice of material for the preparation of some African dishes such as *fufu*, just like fermented cassava flour. This could stimulate greater interest in sweet potato whose use as a staple has been limited because of its sweet taste which is generally unappealing for such preparations.



## Bibliography

- Adeyemi I.A., 1988. Ogi quality of sorghum flour dry-milled from fermented sorghum grains. *Journal of Food Sciences*, **4**, 353-360.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), 1990. *Official methods of analysis* (15<sup>th</sup> ed, Vols 1 and 2). AOAC, Washington DC.
- Blakeney A.B., Mutton L.L., 1980. A simple colorimetric method for the determination of sugars in fruit and vegetables. *Journal of Sciences and Food Agriculture*, **31**, 889-897.
- Brauman A., Kéléké S., Mavoungou O., Ampe F., Miambi E., 1995. Étude cinétique du rouissage traditionnel des racines de manioc en Afrique Centrale (Congo). In : Agbor-Egbe T., Brauman A., Griffon D., Trèche S. (éds). *Transformation Alimentaire du Manioc*. ORSTOM, Marseille, France.
- Collins J.L., 1981. Nutrient composition of sweet potatoes. *Tennessee Farm and Home Sciences*, **117**.
- Daeschel M.A., Anderson R.E., Fleming H.P., 1987. Microbial ecology of fermenting plant material. *FEMS. Microbiology Review*, **46**, 357-367.
- Gopaldas T., Mehta P., Patil A., Gandhi H., 1986. Studies on reduction in viscosity of thick rice gruels with small quantities of an amylase-rich cereal malt. *Food and Nutrition Bulletin*, **8**, 42-47.
- Hagenimana V., Karuri E.G., Oyunga M.A., 1998. Oil content in fried processed sweet potato products. *Journal of Food Processing and Preservation*, **22**, 123-137.
- Huang C.C., Chiang P.Y., Chen Y.Y., Wang C.R., 2007. Chemical compositions and enzyme activity changes occurring in yam (*Dioscorea alata* L.) tubers during growth. *LWT – Food Science and Technology*, **40**, 1498-1506.
- Huang C.C., Lai P., Chen I.H., Liu Y.F., Wang C.C.R., 2010. Effects of mucilage on the thermal and pasting properties of yam, taro, and sweet potato starches. *LWT, Food Science and Technology*, **43**, 849-855.
- Kéléké S., Kimpolo-Kimfoko L., Brauman A., 1995. Origine et importance de l'activité amylasique dans la fermentation lactique des racines de manioc. In : Agbor-Egbe T., Brauman A., Griffon D., Trèche S. (éds). *Transformation Alimentaire du Manioc*. ORSTOM, Marseille, France.
- Kim Y.S., Wiesenborn D.P., Orr P.H., Grant L.A., 1995. Screening potato starch for novel properties. *Journal of Food Science*, **60**, 1060-1065.
- Loewus F.A., 1952. Improvement in anthron method for the determination of carbohydrates. *Analytical Chemistry*, **24**, 219.
- Maung K.M., Naing K.M., Pe H., 1995. Amylase activity of some roots and sprouted cereals and beans. *Food and Nutrition Bulletin*, **16**(2), 178-181.
- Medoua Nama G., Mbome L.I., Agbor-Egbe T., Mbofung C.M.F., 2008. Influence of fermentation on some quality characteristics of trifoliate yam (*Dioscorea dumetorum*) hardened tubers. *Food Chemistry*, **107**, 1180-1186.
- Mlingi N.I.V., 1998. Reducing dietary bulk in cassava-based weaning foods by fermentation. In: Alnwick D., Moses S., Schmidt O.D. (eds). *Improving young child feeding in Eastern and Southern Africa; household-level food technology*. IDRC, Ottawa, Ontario, 209.
- Nout M.J.R., 1993. Processing weaning foods for tropical climates. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, **43**, 213-221.



- Odunfa S.A., 1985. African fermented foods. In: Wood B.J.B. (ed.). *Microbiology of Fermented Foods*, Vol. 2, Elsevier Science Publishers, London and New York, p. 155-191.
- Oguntoyinbo F.A., Dodd C.E.R., 2010. Bacterial dynamics during the spontaneous fermentation of cassava dough in *gari* production. *Food Control*, **21**(3), 306-312.
- Osungbaro T.O., 1990. Effect of fermentation period on amylase content and textural characteristics of *ogi* (a fermented maize porridge). *Journal of Fermentation and Bioengineering*, **70**(1), 22-25.
- Oteng-Gyang K.O., Anuonye C.C., 1987. Biochemicals studies of the fermentation of cassava (*Manihot esculenta* Pohl). *Acta Biotechnology*, **3**, 280-292.
- Purcell A.E., Swaisgood H.E., Pope D.T., 1972. Protein and amino acid content of sweet potato cultivars. *Journal of American Horticulture Science*, **97**(1), 30-33.
- Sanni A.I., 1993. The need for process optimization of African fermented foods and beverages. *International Journal of Food Microbiology*, **18**, 85-95.
- Spelhaug S.R., Harlander S.K., 1989. Inhibition of foodborne bacterial pathogens by bacteriocins from *Lactococcus lactis* and *Pediococcus pentosaceus*. *Journal of Food Protein*, **52**(12), 856-862.
- Sun M., Mu T., Zhang M., Arogundade L.A., 2012. Nutritional assessment and effects of heat processing on digestibility of Chinese sweet potato protein. *Journal of Food Composition and Analysis*, **26**, 104-110.
- Thivend P., Mercier C., Guilbot A., 1965. Dosage de l'amidon dans les milieux complexes. *Annual of Biology, Animal Biochemistry and Biophysics*, **5**, 513-526.

## L'émergence du maïs (*Zea mays*) en zone cotonnière du Tchad est aussi le fait de l'intégration élevage-agriculture

Djondang Koye, Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement, N'Djaména, E-mail : djondang\_koye@yahoo.fr

### Résumé

Cette étude montre que l'émergence du maïs (*Zea mays*) en zone cotonnière du Tchad est aussi le fait de l'intégration élevage-agriculture. Une étude basée sur l'exploitation des données des statistiques agricoles sur une période de 15 ans et une enquête auprès des agriculteurs de village situé à l'Ouest de la zone cotonnière du Tchad ont montré que le développement de la culture de maïs en zone cotonnière peut se faire sans nécessairement accéder à la fumure minérale. De nombreux écrits lient le développement de la culture de maïs en zone cotonnière à l'accès des agriculteurs aux engrais coton. D'autres ont mis l'accent sur l'utilisation de fumure organique seule ou combinée avec les engrais minéraux sans faire nécessairement des liens avec le développement de l'élevage bovin dans les bassins cotonniers. L'histoire de l'introduction de la culture cotonnière en Afrique subsaharienne est liée à celle de l'introduction de la traction animale. Ceci a permis le développement de l'élevage bovin dans les bassins cotonniers. Il est indéniable que le principal accès aux engrais minéraux est la culture du coton. L'importance de l'arrière effet des engrais sur les cultures entrant en rotation avec le coton a été suffisamment démontré. C'est ainsi qu'une céréale comme le maïs qui réagit mieux à l'apport de fumure tant minérale qu'organique, a été intégrée dans le système de production à base du coton. La production de la fumure est désormais faite sur les exploitations à la faveur de la constitution de cheptel bovin en leur sein, soit pour la traction soit pour l'élevage et la traction. Les exploitations ayant eu les meilleurs rendements dans cette étude n'ont pas été nécessairement les mieux servies en engrais minéraux. Ce qui signifie que l'émergence du maïs (*Zea mays*) en zone cotonnière du Tchad comme ailleurs n'est pas nécessairement le fait d'un accès facile pour les producteurs aux engrais coton, mais bien de l'intégration élevage-agriculture.

### Maize (*Zea mays*) emergence in cotton area in Chad is also an outcome of cropping and husbandry integration

This study shows that the emergence of Corn/Maize in the cotton area in Chad is also linked to the cropping and husbandry integration. A study based on the agricultural statistic data over a period of fifteen years and a survey led in the agricultural villages situated in the western cotton zone of Chad have shown that the development of corn in the cotton area may be done without necessarily acceding the mineral closing down. Many writings link the development of corn in the cotton basins with the farmers' access to the cotton fertilizer. Others emphasize only the organic dressing (maturing, dunging) or combined with mineral fertilizer without necessarily relating it to the development of bovine breeding in the cotton basins (pan). The history of the introduction of the growing of cotton in sub-Saharan Africa is linked to the animal traction. This has fostered the growth of the bovine breeding in the cotton basins. It is undeniable that the main access to the mineral fertilizer is the growing of cotton. The last effect of the fertilizer on the crops entering in rotation with cotton has sufficiently been shown. That is the reason why a cereal such as maize which reacts better to contribution of the organic matter products pas the husbandry, has been integrated in the system of reproduction mainly based on cotton. The production on the dunging is from now on made on the basis on the exploitations in favor of the constitution of the bovine livestock from within, be it for the traction or for the breeding and traction. The exploitations having had better profits in that study has not necessarily been the better served with mineral fertilizer. It means that the emergence of corn in the cotton zone in Chad as elsewhere is not necessarily due to the fact that accessing to the cotton fertilizer is easy for the producers, but due to the breeding-farming integration.

# 1. Introduction

L'émergence du maïs en zone cotonnière du Tchad est aussi le fait de l'intégration élevage-agriculture. Plante tropicale herbacée annuelle de la famille des Poacées, le maïs est beaucoup plus cultivé comme céréale pour ses grains riches en amidon, mais également comme plante fourragère. Dans cet article, on s'intéresse au maïs grain.

En zone cotonnière du Tchad, le maïs est désormais cultivé en grand champ, alors qu'il n'était relégué qu'au champ de case. Le passage du maïs des champs de case aux grands champs en zone cotonnière du Tchad ne s'explique pas uniquement par l'accès des agriculteurs aux engrais coton, mais également par l'utilisation de la fumure organique provenant essentiellement des cheptels bovins dont le coton est le facteur propulseur à deux niveaux. L'introduction de la culture du coton au Tchad a impulsé celle de la traction animale et les revenus monétaires issus de la vente du coton graine ont impulsé la capitalisation en élevage.

La crise cotonnière de la moitié des années 1990 a accentué l'intérêt porté à la culture du maïs. Même si en termes de superficies emblavées et de production, le maïs occupe le quatrième rang après le mil, le sorgho et le riz, il contribue à hauteur de 41 % à l'approvisionnement de la ville de N'Djaména devant le sorgho, le mil et le riz.

# 2. Matériel et méthodes

Les données des statistiques couvrant la période allant de 1995 à 2010 ont été exploitées pour situer l'importance de la culture du maïs sur le plan national, régional et départemental. Une enquête de terrain dans le département du Mayo-Dallah, situé à l'Ouest de la zone cotonnière a été menée pour vérifier les données statistiques.

Sur la base de l'organisation spatiale de l'Office National de Développement Rural (ONDR), organisme étatique en charge de la diffusion des connaissances et technologies pour le développement agricoles, le territoire national est divisé en régions de développement rural, secteurs, sous-secteurs et zones de vulgarisation. Frontalier avec le Cameroun à la partie sud-ouest du pays, la région de l'étude enregistre une pluviométrie annuelle variant de 900 à 1 100 mm répartie sur 60 à 70 jours. Caractérisée par des sols ferrugineux tropicaux, halomorphes et hydromorphes ainsi que des vertisols (Cheverry, Fromaget, 1970), elle convient bien à la culture du maïs. L'enquête de terrain a été réalisée dans la zone de vulgarisation de Pala-Herdé, couvrant 33 villages. Trois villages ont été aléatoirement choisis : Herdé, Goïgamla et Margalao. Sur un nombre total d'exploitations dans chacun des villages un échantillonnage a été constitué également de manière aléatoire. Un échantillon de 301 chefs d'exploitation a été enquêté, sur 3 014 exploitations, réparties dans les trois villages (Tableau 1).

**Tableau 1.** Répartition des échantillons enquêtés par site.

Village/Site	Échantillon (10%)	Population totale
Herdé	111	1 113
Goïgamla	85	852
Margalao	105	1 049
Total	301	3 014

Des variétés de maïs à cycle moyen et/ou précoce sont préférées dans la région. La CMS 8501 et la TZE introduite respectivement de l'IRAD au Cameroun et de l'IITA au Nigeria sont généralement cultivées dans la zone de l'étude. Mais on y trouve également les écotypes locaux de maïs.

Un entretien préalable a permis d'identifier les systèmes de production et de cultures de la zone d'étude. Une enquête portée essentiellement sur le système de culture du maïs a été menée sur les chefs d'exploitations retenus dans l'échantillon. La fiche d'enquête a été conçue sous Sphinx V5, ainsi que les analyses statistiques.

### 3. Résultats

#### 3.1. Impact des engrais coton sur la production de maïs

Le progrès de la culture de maïs en zone cotonnière n'est pas forcément incriminable aux engrais coton. La figure 1 montre que les approvisionnements des agriculteurs en engrais coton ont fortement baissé depuis plus d'une dizaine d'années.

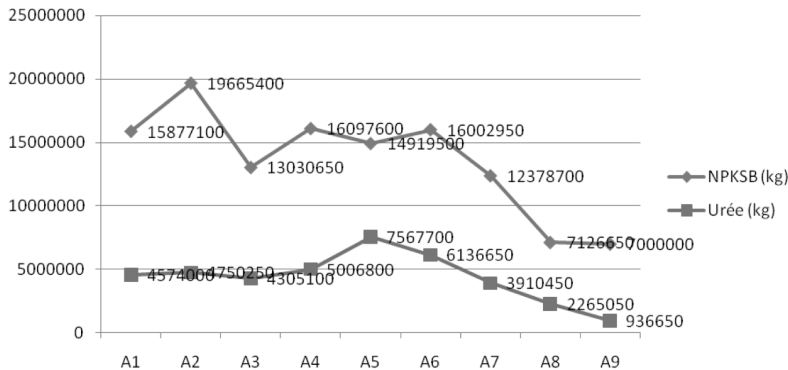


Figure 1. Analyse des données disponibles sur l'approvisionnement des producteurs en engrais coton pendant une période de 9 ans (2001 à 2009).

#### 3.2. Importance du maïs dans le système de production céréalière

Au Tchad comme dans la plupart des pays sahéliens, les céréales constituent la base de l'alimentation de la population. Cinq principales espèces de céréales sont cultivées. Il s'agit par ordre d'importance de : mil, sorgho pluvial, sorgho de décrue, maïs et riz. Les moyennes des superficies emblavées annuellement sur une période de 15 ans (Figure 2) situent l'importance du maïs parmi les céréales cultivées dans le pays.

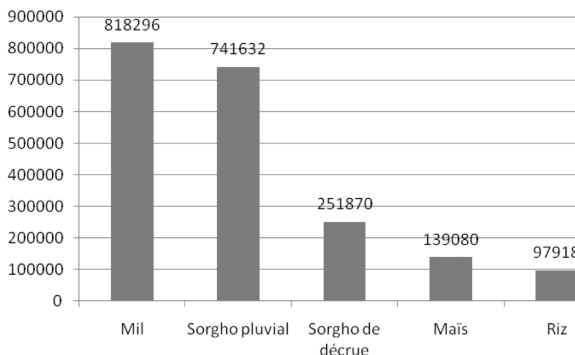
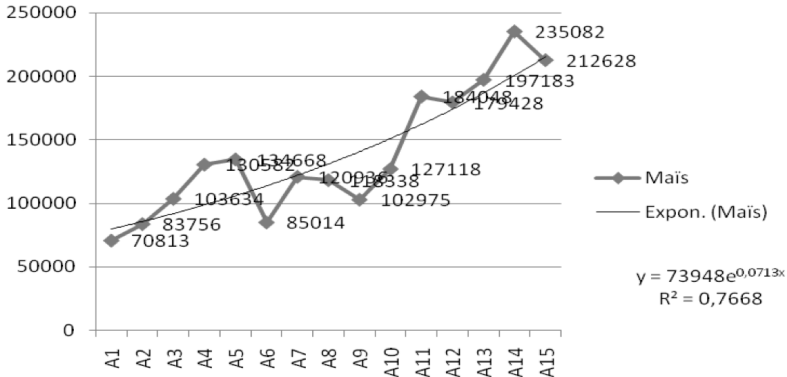


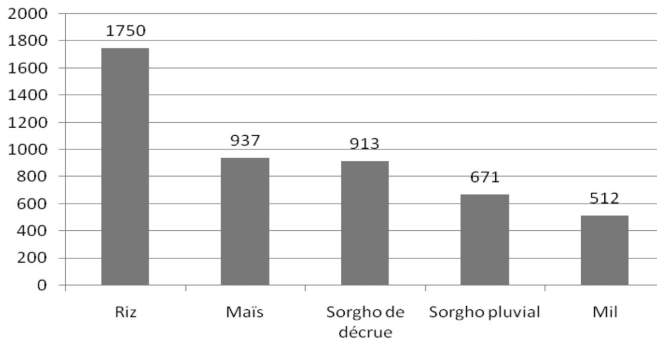
Figure 2. Importance du maïs dans le système de production céréalière au Tchad, en termes de superficies emblavées : moyenne par spéculation sur une période 15 ans (1995-2010).

Longtemps considéré comme culture de case, le maïs est non seulement désormais cultivé en grand champ, mais les surfaces agricoles qui lui sont annuellement consacrées croissent de façon exponentielle (Figure 3).



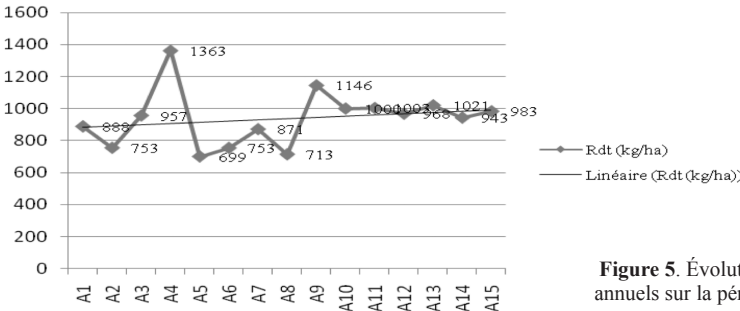
**Figure 3.** Evolution des superficies consacrées annuellement au maïs pendant une période de 15 ans (1995-2010).

L'analyse des statistiques agricoles sur la période de 15 ans montre que le maïs est la culture de grand champ qui donne un meilleur rendement avec 937 kg/ha en moyenne (Figure 4) après le riz qui lui bénéficie des écologies en pluvial strict et en bas-fonds<sup>1</sup>.



**Figure 4.** Rendement moyen des céréales sur une période de 15 ans (1995-2010).

Malgré la crise de la filière cotonnière hypothéquant l'approvisionnement en engrais coton, la culture de maïs se maintient. Cependant, le record de la campagne 1997/1998 se fait ressentir également sur l'utilisation de la fumure minérale sur le maïs. C'est ce qui se signale sur la courbe par l'augmentation des rendements pendant cette campagne (Figure 5). L'incidence de la crise se manifeste les années suivantes par la faible quantité d'engrais et l'approvisionnement tardif des producteurs.



**Figure 5.** Évolution des rendements moyens annuels sur la période de 15 ans (1996-2010).

<sup>1</sup> Le riz irrigué n'est pas pris en compte dans cette étude, car il bénéficie de la maîtrise partielle ou totale de l'eau.

### 3.3. Importance de l'élevage bovin dans les exploitations enquêtées

L'analyse des données collectées indique que globalement 65 % des exploitations enquêtées pratiquent l'élevage bovin (Tableau 2).

**Tableau 2.** Nombre et pourcentage des exploitations enquêtées possédant des bovins et pratiquant la culture du maïs.

Village/Site	Exploitations échantillonnées par village	Nombre et pourcentage d'exploitations possédant des bovins	Nombre et pourcentage d'exploitations pratiquant la culture du maïs
Herdé	111	74 (67)	93 (84)
Goïgamla	85	62 (73)	71 (84)
Margalao	105	61 (58)	86 (82)
Total	301	197 (65)	250 (83)

Le village Goïgamla abrite un ferrig de 11 familles possédant globalement 839 têtes de bovins. Ces familles d'éleveurs cultivent en moyenne 1,6 ha de maïs pour un rendement moyen de 2013 kg/ha. Le maïs est cultivé essentiellement sur les terres de parc de leurs animaux.

Parmi les 301 exploitations enquêtées, 250 pratiquent la culture du maïs. La répartition de ces exploitations par site, par superficie moyenne et par rendement moyen est présentée au tableau 3. Bien que les superficies moyennes emblavées sont autour de 1 ha, les rendements moyens sont autour de 1,5 t/ha.

Globalement l'accès des exploitations aux engrais minéraux est très limité. Le tableau 3 présente le très faible niveau de fumure minérale. La moyenne d'apport sur le site de Herdé double celle des trois sites réunis. Cependant, le rendement moyen de maïs le plus élevé est constaté au village Margalao. Les rendements observés doivent leurs explications ailleurs que par l'apport d'engrais minéraux. La proximité du centre urbain semble expliquer l'accès aux engrais même si les quantités utilisées sur la culture du maïs ne sont pas optimales. En effet, le village Herdé est presque un quartier de la ville de Pala, car situé à environ 4 km du centre urbain.

**Tableau 3.** Apport d'engrais minéraux au maïs par site et rendement au champ.

Village/site	Exploitations échantillonnées par village/site	Nombre et pourcentage d'exploitations pratiquant la culture du maïs	Superficie moyenne consacrée au maïs par village/site (ha)	Quantité moyenne de NPK apportée au maïs par site (kg/ha)	Quantité moyenne de N apportée au maïs par site (kg/ha)	Rendement moyen de maïs par village/site (kg/ha)
Herdé	111	93 (84)	1,00	26	23	1 468
Goïgamla	85	71 (84)	0,81	4	4	1 746
Margalao	105	86 (82)	0,76	9	5	2 030
Total	301	250 (83)	0,85	12	10	1 753

## 4. Discussion et conclusion

### 4.1. Fumure minérale sur coton et fumure minérale sur maïs sont certes liées, mais ne sont pas indissociables

Les résultats de l'analyse faite dans le cadre de cette étude, croisant les données des statistiques agricoles à celles d'enquêtes auprès des producteurs montrent que l'émergence du maïs en zone cotonnière du Tchad est aussi le fait de l'intégration élevage-agriculture. La filière cotonnière du Tchad à l'instar de celle des autres pays d'Afrique subsaharienne subit les méfaits des crises récurrentes d'il y a maintenant plus d'une décennie. Depuis la fin des années

1990, la filière cotonnière tchadienne connaît des difficultés sans précédent. Cette difficulté a amené le dysfonctionnement de la filière au point que la société cotonnière n'arrive plus à satisfaire normalement les besoins des producteurs en engrais (Djondang, 2007). Les quantités d'engrais mises à la disposition décroissent chaque campagne voire deviennent même nulles dans certaines zones certaines années.

Dès lors, la culture du maïs devrait souffrir, si l'on raisonne sous l'hypothèse selon laquelle le développement de la culture du maïs en zone cotonnière se fait au dépend des engrais coton. Bien au contraire la figure 3 montre que les superficies emblavées en maïs croissent depuis plus d'une quinzaine d'années. Toutefois, la figure 5 relative à l'évolution des rendements moyens annuels montre une période de stabilisation ces dernières années. Cela expliquerait que les agriculteurs ont également recours à la fumure organique (Bado et al., 1997) pour la culture de maïs et non uniquement aux engrais minéraux.

## **4.2. Propagation du maïs des champs de case au grand champ, une histoire récente**

En effet, introduit à partir d'Amérique, le maïs n'a pas connu, en Afrique de l'Ouest et centrale, une large propagation comparable à celle intervenue en Afrique orientale et australe (<http://www.fao.org>). Sa culture a pendant longtemps été concentrée dans une aire relativement limitée, souvent autour des habitations. Au Tchad, le maïs était certes présent en zone cotonnière qui s'identifie à la zone soudanienne, mais sa culture en grand champ n'est que récente. Les facteurs qui contribuent à l'intérêt des cotonculteurs pour la culture du maïs semblent être la crise de la filière cotonnière elle-même (Mbétid-Bessane et al., 2006), la crise alimentaire de 1984 et l'accès aux engrais coton, mais également à l'accès à la fumure organique issue des élevages d'agriculteurs. Les travaux de Bado et al. (1997) ont permis certes de situer l'importance des fumures minérales et organiques dans la production de maïs, mais n'ont pas spécifiquement insisté sur le rôle que joue aussi l'intégration de l'élevage dans les exploitations agricoles sur le développement de cette spéculation.

## **4.3. Au Tchad, l'introduction de la culture du coton a impulsé l'intégration de l'élevage dans les exploitations agricoles**

### **4.3.1. L'introduction de la culture du coton**

En dépit de la culture du coton par les peuls aux monts Mandara, les Belges ont commencé la culture du coton en Afrique centrale en 1918. Sa culture est lancée officiellement sur le territoire du Tchad actuel en 1926 (<http://www.fao.org>). La culture du coton a prospéré au Tchad depuis lors.

### **4.3.2. L'introduction de la culture attelée**

Bien que fait de manière isolée, le souci d'introduction de la traction animale a débuté dans les années 1952/1954, avec l'essai de métissage des zébus locaux avec les Ndama (<http://www.fao.org>) importés de Côte d'Ivoire pour disposer d'animaux résistants aux intempéries, susceptibles de tracter des engins agricoles essentiellement pour le travail des sols en cotonculture. Si certains peuples de l'Ouest avaient déjà la tradition d'élevage bovin, d'autres du centre et de l'Est de la zone soudanienne où est introduite le coton n'avaient pas la tradition d'élever les bovins.

L'introduction des bovins en zone soudanienne du Tchad pour le besoin de la production cotonnière a fait que leur élevage y est actuellement généralisé. Au delà de l'utilisation des bovins pour la culture attelée, les producteurs de coton ont aussi investi leurs revenus en culture de coton dans l'élevage au-delà de l'aspect exploitation de leur force de travail. Nombreux sont ceux d'entre eux qui ont constitué des cheptels composés de bovins de traction et de



bovins d'élevage. Cependant, l'utilisation de la fumure organique issue des déjections de cet élevage n'est que récente comme l'ont souligné Bado et al. (1997) pour le cas du Burkina Faso.

La poursuite de la production de maïs malgré les crises cotonnières (Djondang, 2007) qui ont drastiquement limité l'accès des agriculteurs aux engrais minéraux (Tableau 4) montre bien que l'épanouissement de cette spéculation n'est pas uniquement lié à l'accès des agriculteurs aux engrais coton. La figure 4 renforce l'hypothèse selon laquelle la culture de maïs en zone cotonnière ne dépend pas uniquement des apports des engrais coton, mais aussi de la fumure organique issue de l'élevage bovin des cotonculteurs. Cependant la stabilisation de la courbe de croissance des rendements moyens annuels (Figure 5) prouve que l'apport de la fumure organique combiné avec celui des engrais minéraux est nécessaire pour maximiser la production du maïs.

**Tableau 4** : Répartition des exploitations en fonction de leur degré d'accès aux engrais minéraux.

	Exploitations échantillonnées par village	Nombre et pourcentage d'exploitations utilisant les engrais minéraux complexes NPK par degré de quantités utilisées (kg)				Nombre et pourcentage d'exploitations utilisant l'engrais minéral simple N (kg), par degré de quantités utilisées			
		0	1 à 49	50 à 99	100 et plus	0	1 à 49	50 à 99	100 et plus
Herdé	111	85 (76)	8 (7)	15 (14)	3 (3)	81 (73)	7 (6)	20 (18)	3 (3)
Goïgamla	85	76 (89)	3 (4)	4 (5)	2 (2)	72 (85)	9 (10)	3 (4)	1 (1)
Margalao	105	88 (84)	12 (11)	4 (4)	1 (0,9)	94 (90)	9 (9)	1 (0,9)	1 (0,9)
Total	301	249 (82)	23 (8)	23 (8)	6 (2)	247 (82)	25 (8)	24 (8)	5 (2)

La croissance exponentielle des emblavements en maïs malgré les crises récurrentes de la filière cotonnière (Djondang, 2007) montre qu'au contraire les producteurs recourent au maïs comme stratégie d'adaptation à la crise cotonnière en termes de revenus monétaires (Mbétid-Bessane et al., 2006).

#### **4.3.3. Des agriculteurs qui pratiquent bien la culture du maïs en comptant essentiellement sur la fumure organique issue de leur élevage**

Les résultats de l'enquête présentés dans les tableaux 3 et 4 montrent que même sans accès aux engrais minéraux, les agriculteurs du Mayo-Kebbi Ouest continuent de produire le maïs. Les rendements moyens obtenus dans la zone d'enquête sans apport substantiel d'engrais sont globalement bien au dessus de la moyenne nationale. Dans un contexte actuel de baisse de fertilité des terres en zone cotonnière du Tchad, le recours à la fumure organique combiné aux engrais minéraux est la meilleure façon de gérer les écosystèmes cultivés (AGROPOLIS, CIRDES, 2010).

Des études menées au Nord Cameroun par M'Biandoun et al. (2003) et Mvondo Awono et al. (2003), en zone cotonnière comme dans celle où notre étude est réalisée, ont bien montré que la faible présence de fumure organique dans le sol limite la production du maïs. L'essai mené par Mvondo Awono et al. (2003) en utilisant des doses étagées entre 0 et 40 t/ha de fumier a permis d'identifier la dose de 8 t/ha de fumier comme la meilleure, tout en émettant des réserves. Ces travaux menés au Nord Cameroun ont le mérite de montrer l'importance de la fumure organique sur la productivité du maïs, tout comme Bado et al. (1997) l'avaient aussi démontré. Mais, aucune des ces équipes n'a souligné le fait qu'en zone cotonnière la disponibilité en fumure organique d'origine animale est souvent favorisée par le fait de l'élevage dont le facteur propulseur est la culture cotonnière.

La contrainte d'accès aux engrais coton a peut être fait comprendre aux agriculteurs la nécessité de recourir à la fumure organique, principalement à celle issue de leur élevage. Cependant, le faible équipement en matériels agricoles de transport constitue une contrainte à la meilleure valorisation des déjections animales de leur élevage. Les résultats de notre enquête ont montré que les agriculteurs contournent cette contrainte en parquant directement les animaux sur les parcelles qu'ils souhaitent fumer. Ils sont même parvenus à estimer qu'un nombre minimum de 30 têtes de bovins peut produire des déjections suffisantes pour fumer 1 ha. Ils contournent la contrainte de transport en parquant les animaux sur la parcelle à fumer tout en prenant soin de les déplacer d'un lieu à l'autre de la parcelle.

## Bibliographie

- AGROPOLIS, CIRDES, 2010. *Restaurer la fertilité des sols et pérenniser les systèmes agropastoraux d'Afrique subsaharienne grâce à la fumure organique*, 48 p. <http://www.agropolis.fr/pdf/chapitres-dossier-thematique-projet-duras/projet-duras-restauration-fertilite-sols-perenniser-systemes-agropastoraux-afrique-subsa-harienne-fumure-organique.pdf>
- Bado B.V., Papdoba Sédogo M., Cescas M.P., Lompo F., Bationo A., 1997. Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso. *Cahiers Agricultures*, **6**(6), 571-575.
- Cheverry C., Fromaget M., 1970. *Carte pédologique de reconnaissance à 1/200 000 de la République du Tchad : feuille Léré*. ORSTOM, Paris, 88 p.
- Djondang K., 2007. Retard de paiement, une des caractéristiques du dysfonctionnement de la filière cotonnière au Tchad. *Revue Scientifique du Tchad*, **9**(2), 5-13.
- FAO, 1995. Synthèse préparatoire – Les systèmes de culture du maïs en Afrique : quelques études de cas. In : CIRAD. *Production et valorisation du maïs à l'échelon villageois en Afrique de l'Ouest. Actes du séminaire « Maïs prospère » 25-28 janvier 1994. Cotonou, Bénin*. <http://www.fao.org/docrep/X5158F/x5158f07.htm>
- Mbétid-Bessane E., Havard M., Djondang K., 2006. Évolution des pratiques de gestion dans les exploitations agricoles familiales des savanes cotonnières d'Afrique centrale. *Cahiers Agricultures*, **15**(6), 555-561.
- M'biandoun M., Thézé M., Abbou Abba A., 2003. Maintien ou amélioration du potentiel productif des sols en région soudano-sahélienne du Nord-Cameroun. In : Jamin J.Y., Seiny Boukar L., Floret C. (eds). *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, mai 2002, Garoua, Cameroun*. Prasac, N'Djamena, Tchad/Cirad, Montpellier, France.
- Mvondo Awono J.P. et al., 2003. Fertilisation des sols dans les monts Mandara à l'Extrême-Nord du Cameroun. Du diagnostic aux recommandations. In : Jamin J.Y., Seiny Boukar L., Floret C. (eds). *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, mai 2002, Garoua, Cameroun*. Prasac, N'Djamena, Tchad /Cirad, Montpellier, France.

## Analyse de la production du fonio, *Digitaria exilis*, dans le nord-ouest du Bénin

Paraíso Armand A., Batamoussi H.M., Sekloka E., Yegbemey R.N., Yabi A.J.,  
Université de Parakou, Bénin, E-mail : arparaíso@yahoo.fr ; armand.paraíso@fa-up.bj  
Batawila K., Glitho E., Université de Lomé, Togo

### Résumé

La production du fonio est une activité très peu développée au Bénin. Elle se pratique exclusivement dans le nord-ouest du pays et fait partie des activités menées par les populations pour satisfaire leurs besoins tant alimentaires qu'économiques. La présente étude vise à analyser les déterminants de la production du fonio dans une perspective de sa promotion. Pour ce faire, une enquête a été conduite auprès de 200 chefs d'exploitation agricole du nord-ouest du Bénin. Ceux-ci ont été choisis de manière raisonnée et aléatoire. Les données relatives à leurs principales caractéristiques socio-démographiques ont été collectées sur la base de questionnaires d'enquête. Il ressort des analyses que les déterminants du choix de cultiver ou non le fonio dans la zone d'étude sont : l'âge, le niveau de scolarisation et le nombre d'actifs agricoles. Il n'existe pas de contraintes socioculturelles liées au choix des producteurs de cultiver le fonio. Les résultats de cette étude offrent une opportunité de mise en place d'une politique de promotion de la spéculation, reconnue pour ses multiples avantages.

### Analysis of fonio, *Digitaria exilis*, production in the Northwest Benin, West Africa

Fonio production is a very weakly developed activity in Benin. Its only achieved in the Northwestern part of the country, where its production is undertaken by producers to satisfy their economic and alimentary needs. The present study aims at analyzing the fonio production determinants in the perspective of the culture' promotion. For that, the study were conducted with 200 fonio producers, who were randomly selected in the study sites for the purpose. Data in relation with sociodemographic characteristics were collected on the base of questionnaire. The results of the study showed that, the determinants to produce or not the fonio culture were as followed: the age, the level of schooling, and the number of active members in the agricultural unit. They were no sociological constraints in relation with fonio production in the sites. The results of the study, offered the opportunity to developped strategies for the promotion of the cereale, well known for its multiples virtues and, in the frame of poverty alleviation in the Northwestern Benin.

## 1. Introduction

Dans beaucoup de régions ou de zones de production, le fonio est considéré comme une culture marginale en raison de son très faible rendement (Jideani, 1990 ; Vodouhè et al., 2003 ; MAEP, 2010 ; Paraíso et al., 2011). Le rendement du fonio est généralement assez faible et, en fonction des pays, varie entre 200 et 900 kg/ha en moyenne (Zannou, Vodouhè, 1998). De ce fait, le fonio apparait comme une céréale négligée dans beaucoup de pays comme le Togo où, en fonction du tonnage produit, il occupe la dernière place dans le classement des vivriers (Dantsey, 1998). Pourtant, le fonio est une culture très connue et appréciée par certaines ethnies dans les régions des Plateaux, de la Kara et des Savanes. C'est pour cette raison que des superficies relativement importantes sont emblavées chaque année (Dantsey, 1998). En Côte d'Ivoire aussi, les producteurs accordent à cette spéculation des superficies non négligeables pouvant atteindre 11 200 ha (AISA, 1991).

Dans le contexte actuel de la lutte contre la faim par l'autosuffisance alimentaire, et la diversification des productions agricoles, le fonio connaît, dans plusieurs pays, un regain d'intérêt

en raison de ses qualités gustatives, de ses vertus thérapeutiques et de ses faibles exigences écologiques (Jideani, 1999 ; Besançon, 2000 ; Vodouhè et al., 2003 ; Adoukonou-Sagbadja et al., 2006 ; Paraïso et al., 2011 ; Ballogoun, 2013). Du fait de son faible index glycémique, le fonio est proposé dans le cadre du traitement du diabète (Besançon, 2000). Ainsi, en Guinée et dans bien d'autres pays africains, le fonio est devenu une culture assez promue.

Au Bénin, la commune de Boukoubé située dans le nord-ouest du pays fournit à elle seule, plus de 74 % de la production nationale parce que le fonio a une importance socio-culturelle pour les Otamari, un groupe ethnique majoritaire dans la région (Dramé, Cruz, 2002 ; Ballogoun, 2013). Les autres communes productrices sont : Coby, Toucoundouna, Tanguiéta et Natitingou (MAEP, 2010). Cette région est caractérisée par un niveau de pauvreté élevé. En effet, les départements du Borgou, de l'Alibori, de l'Atacora et de la Donga font partie des zones très pauvres du Bénin avec un Indice de Pauvreté Humaine (IPH) supérieur à 40 % (IPH > 40 %) (PNUD, 2008).

Les statistiques disponibles indiquent qu'aussi bien la production que les superficies emblavées pour le fonio dans cette région sont depuis longtemps très faibles. À Boukoubé, la production est passée de 2 700 tonnes (t) en 1987 à environ 1 500 t en 1996 (Dossou-Yovo, 1998) soit une baisse de 44,44 %. Pendant la même période, les superficies emblavées ont connu une baisse de 28,57 % (Dossou-Yovo, 1998). Aussi, seulement 38,98 t de fonio ont été cultivées au Bénin en 2006 et, la production nationale du fonio au Bénin n'est pas constante et, a varié de 4 164 t en 1991 à 947 t en 2010 (MAEP, 2010).

Les superficies emblavées *per capita* dans les zones de production au Bénin sont très faibles, en moyenne 0,64 ha pour un rendement moyen de 528 kg/ha, inférieur au rendement moyen (611,1 kg/ha) de la culture au Bénin en 2010 (FAO, 2012 ; Ballogoun, 2013).

En tenant compte de la rentabilité de la production du fonio qui, selon l'USAID (2008), présente une marge nette de 88 000 FCFA à l'hectare au Sénégal, une promotion de la spéculation serait, plus qu'un atout, un aspect spécifique des politiques de réduction de la pauvreté, de promotion des filières et de la diversification des productions agricoles dans la région.

Malgré le peu d'attention qui lui est accordée et les contraintes de sa culture au Bénin, la production du fonio apparaît comme une activité économiquement rentable (Paraïso et al., 2011). C'est dans une perspective de la promotion de la production du fonio que la présente étude vise à en analyser les déterminants.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Zones d'étude

Les données utilisées pour les analyses ont été collectées auprès des producteurs de fonio du nord-ouest du Bénin et plus précisément dans le département de l'Atacora (Figure 1). Dans cette zone, cinq communes ont été sélectionnées. Ce sont : Natitingou, Boukoubé, Tanguiéta, Coby et Toucoundouna.

### 2.2. Commune de Natitingou

Située à 421 m d'altitude, la commune de Natitingou a pour coordonnées géographiques 10° 18' 46" de latitude nord et 1° 23' 19" de longitude est. Natitingou se trouve dans la zone centre du département de l'Atacora. Elle couvre une superficie de 3 045 km<sup>2</sup>, représentant 12,8 % de la superficie totale du département (Afrique Conseil, 2006a). Elle est limitée au Nord par la commune de Toucoundouna, au Sud et à l'Est par celle de Kouandé et à l'Ouest par Boukoubé. Le relief de la commune de Natitingou, caractéristique de la chaîne de l'Atacora,

est accidenté. Le climat est du type soudano-guinéen, nuancé par le relief Atacorien avec deux saisons bien distinctes, à savoir une saison pluvieuse qui s'étend de mi-avril à mi-octobre, et une saison sèche qui couvre la période de mi-octobre à mi-avril.

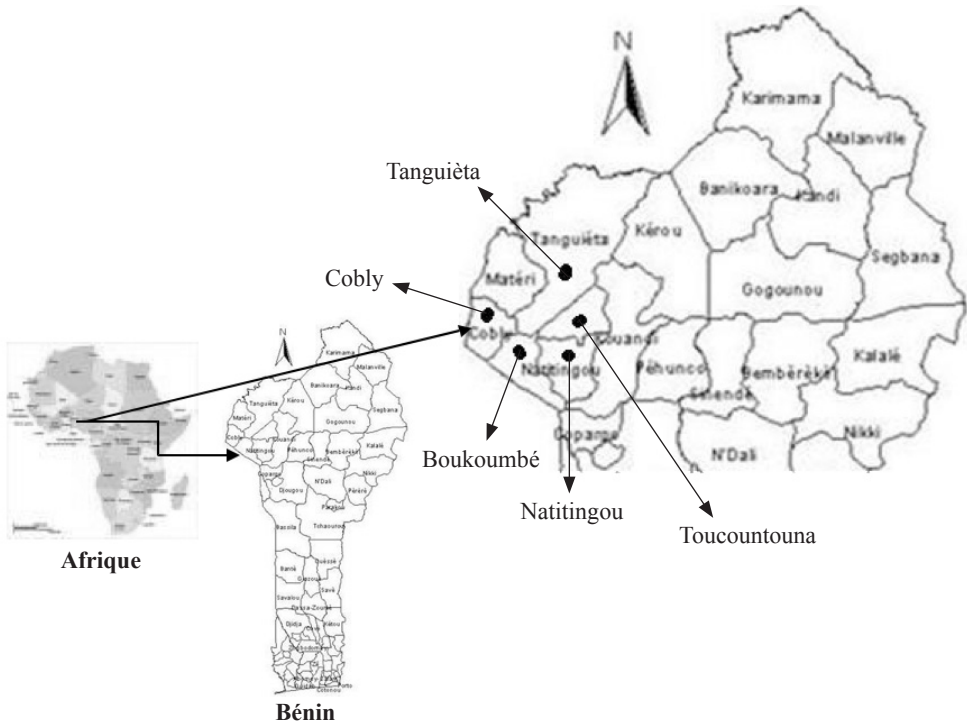


Figure 1. Zones de l'étude.

### 2.3. Commune de Boukoubé

Elle est située au nord-ouest du département de l'Atacora. Ses coordonnées géographiques sont comprises entre  $10^{\circ}$  et  $10^{\circ}40'$  de latitude nord et  $0^{\circ}75'$  et  $1^{\circ}30'$  de longitude est. Boukoubé est située en zone soudanienne. Elle est limitée au Nord-Est par la commune de Tanguéta, au Nord-Ouest par celle de Cobly, au Sud et à l'Est par les communes de Natitingou et Toucountouna et à l'Ouest par la République du Togo (Afrique Conseil, 2006b). Le climat de type soudano-guinéen est caractérisé par une saison pluvieuse d'avril à octobre et une saison sèche allant de novembre à mars.

### 2.4. Commune de Tanguéta

Située à 234 m d'altitude, la commune de Tanguéta a pour coordonnées géographiques  $10^{\circ}37'0''$  de latitude nord et  $1^{\circ}16'0''$  de longitude est. Elle couvre une superficie de 5456 km<sup>2</sup> et est située dans le département de l'Atacora (Afrique Conseil, 2006c). La commune de Tanguéta est entourée des montagnes de la Chaîne de l'Atacora et limitée au Nord par le Parc de la Pendjari, au Sud par les communes de Toucountouna et de Boukoubé, à l'Ouest par les communes de Matéri et de Cobly, à l'Est par les communes de Toucountouna, de Kérou et de Kouandé. Le climat de la commune de Tanguéta est de type soudano-sahélien avec une saison pluvieuse qui s'étend du mois de mai à novembre et une saison sèche qui s'étend de novembre à mai.

## 2.5. Commune de Cobly

La commune de Cobly située au nord-ouest du Bénin, dans le département de l'Atacora est limitée au Nord par la commune de Matéri, au Sud par la commune de Boukoubé, à l'Est par la commune de Tanguéta et à l'Ouest par la République du Togo (Afrique Conseil, 2006d). Elle couvre une superficie d'environ 825 km<sup>2</sup>. Elle jouit d'un climat de type soudano-guinéen avec une saison pluvieuse de mai à octobre et une saison sèche allant de novembre à avril.

## 2.6. Commune de Toucountouna

Située au Nord-Ouest du Bénin, la commune de Toucountouna est comprise entre le 10° et le 12° parallèles nord et est limitée : au Sud par la commune de Natitingou, au Nord par la commune de Tanguéta, au Sud-Ouest par la commune de Boukoubé et à l'Est par la commune de Kouandé (Afrique Conseil, 2006e). Le climat assez pluvieux (1 230 mm par an) de la commune de Toucountouna s'inscrit dans l'ensemble plus vaste de la zone climatique soudanienne de type semi-aride du nord Bénin. Mais on le range plus précisément dans le système pluviométrique unimodal en tant que climat tropical humide de style atacorien.

## 2.7. Collecte de données

Les unités d'observation de l'étude sont les chefs d'exploitations agricoles (un chef d'exploitation étant un producteur de fonio, avec ou sans enfants à charge et disposant d'une exploitation agricole) des communes sélectionnées avec une priorité donnée aux producteurs actuels de fonio. Dans les cinq communes retenues pour l'étude, 200 chefs d'exploitations ont été choisis de manière raisonnée et aléatoire. L'échantillonnage raisonné a consisté à identifier dans chaque village tous les producteurs actuels de fonio et à les choisir de manière systématique. Dans certains villages, les producteurs de fonio étant en nombre très limité, leur effectif a été complété par un choix aléatoire de producteurs afin d'atteindre la taille de 200 producteurs préalablement fixée pour l'échantillon.

Un questionnaire individuel a permis de collecter les principales caractéristiques socio-démographiques des producteurs. Des entretiens semi-structurés et des 'focus groups' ont été organisés pour comprendre le rôle du fonio dans les localités visitées. Enfin, des observations directes et indirectes puis la triangulation des informations ont été utilisées pour s'assurer de la véracité des informations recueillies.

## 2.8. Traitements de données

L'analyse quantitative des données a été réalisée à travers le calcul des statistiques descriptives (tableaux de fréquences, moyennes et écarts-types), des tests Chi carré ( $\chi^2$ ) et de comparaison de moyennes et des régressions logistiques. Le logiciel statistique SPSS Version 16 a été utilisé à cet effet. Par ailleurs, l'analyse du contenu a aussi été utilisée pour explorer les données qualitatives telles que, les récits et les points de vue des enquêtés. L'analyse du contenu est un effort d'interprétation qui se balance entre deux pôles, d'une part la rigueur de l'objectivité et, d'autre part la fécondité de la subjectivité (Bardin, 1977). Comme le propose Wanlin (2007), l'analyse du contenu s'organise autour de trois phases chronologiques : la pré-analyse, l'exploitation du matériel ainsi que le traitement des résultats et enfin l'inférence et l'interprétation.

## 2.9. Spécification du modèle de régression

Partant de l'hypothèse que le choix ou la décision du producteur  $i$  de cultiver le fonio – noté  $Y$  – est influencé par  $j$  caractéristiques socio-démographiques et économiques – notés  $Z$  – du producteur soit la relation simple :

$$Y_i = F(Z_i) \quad (1)$$

En ramenant cette équation à une formulation économétrique, on obtient :

$$Y_i = \alpha_o + \sum_j \alpha_j Z_{ij} + e_i \quad (2)$$

Dans la pratique, pour apprécier les déterminants du choix des producteurs à produire du fonio, un modèle de régression logistique a été estimé. Il s'agit d'un modèle LOGIT. Ce modèle est en effet, le plus utilisé dans les études de décision d'adoption impliquant des choix multiples (Hassan, 2008). Le tableau 1 présente les variables introduites dans les différents modèles.

**Tableau 1.** Codes et modalités des variables du modèle de régression.

Noms des variables	Code	Nature	Modalités	Signes attendus
Commune	COMM	Discontinue	Natitingou = 1 ; Boukombe = 2 ; Tanguieta = 3 ; Coby = 4 ; Toucoutouna = 5	±
Ethnie	ETHNI	Discontinue	Ditamari = 1 ; Lamba = 2 ; Natimba = 3 ; M'Berme = 4 ; Wama = 5	±
Âge	AGE	Discontinue	0 = Inférieur à 40 ans 1 = Supérieur à 40 ans	±
Sexe	SEX	Discontinue	0 = Féminin 1 = Masculin	
Situation matrimoniale	SMAT	Discontinue	Célibataire = 0 ; Marié = 1	±
Niveau de scolarisation	NSCO	Discontinue	Non = 0 ; Oui = 1	+
Niveau alphabétisation	NALP	Discontinue	Non = 0 ; Oui = 1	+
Taille du ménage	TAILL	Continue	-	±
Nombre d'actifs agricoles	ACTIF	Continue	-	+
Activité principale	ACTIV	Discontinue	Autre que agriculture = 0 ; Agriculture = 1	±

Ce faisant, le modèle se présente comme suit :

$$Y = \alpha_o + \alpha_1 \text{COMM} + \alpha_2 \text{ETHNI} + \alpha_3 \text{AGE} + \alpha_4 \text{SEX} + \alpha_5 \text{SMAT} + \alpha_6 \text{NSCO} + \alpha_7 \text{NALP} + \alpha_8 \text{TAILL} + \alpha_9 \text{ACTIF} + \alpha_{10} \text{ACTIV} \quad (3)$$

où  $Y$  est la variable à expliquer;  $e_i$  le terme d'erreur;  $\alpha_o$  le terme constant;  $\alpha_i$  les paramètres à estimer. Puisque les variables explicatives telles que la commune et l'ethnie ne sont pas des variables qualitatives dichotomiques muettes, le logiciel traitera chacune de leur modalité comme telle et en calculera les coefficients. Cependant, pour simplifier la lecture des résultats, chacune de ces modalités a été considérée comme une variable et a été introduite dans le modèle de régression.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Statistiques descriptives des variables introduites dans le modèle de régression

Le tableau 2 présente les statistiques descriptives des différentes variables introduites dans le modèle de régression.



Le tableau 2 montre que Boukombé est la zone enregistrant le plus grand nombre de producteurs enquêtés. En effet, Boukombé est le principal foyer de production de fonio au Bénin. Les enquêtés appartiennent à cinq ethnies et sont pour la plupart des hommes. Nos résultats ont corroboré les observations de quelques auteurs qui montrent que la commune de Boukoubé fournit, à elle seule, plus de 74 % de la production nationale, d'une part, et de l'autre, la culture du fonio a, dans cette région une importance socio-culturelle pour l'ethnie prédominante de la région (Dramé, Cruz, 2002 ; MAEP, 2010).

La production du fonio dans la zone d'étude est une activité exclusivement masculine. Par ailleurs, la majorité des enquêtés sont mariés et âgés de moins de 40 ans. Ces résultats sont en concordance avec les observations de Ballogoun (2013) en relation avec la production du fonio dans les mêmes zones d'étude.

**Tableau 2.** Caractéristiques socio-démographiques des enquêtés.

Variables	Modalités	Effectif
Commune	Natitingou	11 (5,5)
	Boukombe	84 (42)
	Tanguieta	28 (14)
	Cobly	59 (29,5)
	Toucountouna	18 (9)
Ethnie	Ditamari	68 (34)
	Lamba	11 (5,5)
	Natimba	27 (13,5)
	M'Berme	74 (77)
	Wama	20 (10)
Âge	Inférieur à 40 ans	118 (59)
	Supérieur à 40 ans	82 (41)
Sexe	Masculin	192 (96)
	Féminin	8 (4)
Situation matrimoniale	Célibataire	10 (5)
	Marié	190 (95)
Niveau de scolarisation	Scolarisé	57 (28,5)
	Non scolarisé	143 (71,5)
Niveau d'alphabétisation	Alphabétisé	35 (17,5)
	Non alphabétisé	165 (82,5)
Activité principale	Agriculture	197 (98,5)
	Autre que l'agriculture	3 (1,5)

NB : Les chiffres entre parenthèses représentent le pourcentage du total des enquêtés.

Sur le plan de l'éducation formelle, plus de la moitié des enquêtés ne sont jamais allés à l'école. Le taux d'alphabétisation est encore plus faible puisque seuls 17,5 % des enquêtés sont alphabétisés contre 28,5 % de scolarisés. L'agriculture demeure la principale activité dans la zone d'étude. Ces résultats sont en accord avec ceux de Paraïso et al. (2012a ; 2012b), relatives aux activités apicoles dans la même région.

En plus de ces principales variables descriptives, il est à noter que la taille moyenne des ménages a varié entre 1 et 23, avec une moyenne de  $8 \pm 4$  personnes. Le nombre d'actifs agricoles quant à lui a varié de 1 à 20 actifs, avec une moyenne de  $6 \pm 3$  actifs par producteur.

### 3.2. Déterminants de la production du fonio

Les variables introduites dans le modèle de régression ont permis d'expliquer 33,6 % à 51,1 % des variations observées dans le choix des producteurs à cultiver le fonio. Les variations

non expliquées telles que les conditions climatiques, le niveau de prospérité des ménages, etc., ont été attribuées aux facteurs difficilement mesurables et par conséquent n'ont pas été introduites dans ce modèle. Par ailleurs le modèle était globalement significatif au seuil de probabilité de 1 %.

**Tableau 3.** Résultats du modèle de régression.

Variables	Coefficient	Signification
COMM (Natitingou)	-0,460	0,981
COMM (Boukombe)	-1,902	0,999
COMM (Tanguieta)	-23,256	0,973
COMM (Cobly)	17,946	0,984
ETHNI (Ditamari)	21,697	0,925
ETHNI (Lamba)	23,468	0,569
ETHNI (Natimba)	45,686	0,799
ETHNI (M'Berme)	1,606	0,922
AGE	-1,479	0,006*
SEX	-1,383	0,198
SMAT	-0,529	0,727
NSCO	1,864	0,003*
NALP	-0,893	0,235
TAILL	-0,644	0,161
ACTIF	0,862	0,080***
ACTIV	-20,686	0,959
Constante	-41,890	0,999
Résumé du Modèle	R <sup>2</sup> de Cox et Snell = 0,336 ; R <sup>2</sup> de Nagelkerke = 0,511 ; p = 0,000	

\* Valeur significative à 1 % ; \*\* Valeur significative à 5 % ; \*\*\* Valeur significative à 10 %.

Légende : SMAT : Situation matrimoniale ; NSCO : Non scolarisé ; NALP : Non alphabétisé ;

ACTIV : Taille du ménage ; ACTIV : Activités principales.

Six facteurs restent déterminants dans l'absorption d'une technologie vue dans le cas d'espèce de la mise en place d'un paquet ou d'actions pour la promotion de l'agriculture. Ces facteurs d'adoption sont : la complexité de la technologie ; l'investissement initial indispensable ; le bénéfice net escompté ; la possibilité d'accès aux intrants nécessaires et les facilités de crédits ; les risques liés à l'adoption de la technologie et les possibilités d'intégration de la technologie dans le schéma socioculturel de l'exploitant (Acakpo, 2004 ; Yabi, 2009).

Partant de cette typologie, il ressort que le choix de la production du fonio est principalement influencé par des facteurs propres à l'individu. En effet, des variables introduites dans le modèle de régression, seuls l'âge, le niveau de scolarisation et le nombre d'actifs agricoles sont les principaux déterminants du choix des enquêtés à produire ou non du fonio dans les zones de l'étude. L'âge de l'enquêté a eu un effet négatif et significatif à 1 % sur son choix à cultiver ou non le fonio. En d'autres termes, plus les producteurs sont jeunes, plus ils évitent de produire le fonio. Ceci s'explique par le fait que l'activité de production du fonio est très exigeante en matière de temps et de travail. Pour les jeunes, il est plus bénéfique de consacrer sa force de travail à une autre spéculation moins exigeante que le fonio. Ces résultats corroborent les observations sur l'importante diminution de la production du fonio, phénomène en relation avec la réduction des surfaces cultivées au profit des autres céréales, principalement le maïs, qui est plus facile à cultiver et donne de meilleurs rendements. Ainsi, il a été noté que, les superficies emblavées *per capita* dans la zone d'étude, sont très faibles, et le rendement moyen inférieur à la moyenne au Bénin en 2010 (FAO, 2012 ; Ballogoun, 2013).

De plus, la production et les opérations post-récolte du fonio sont très pénibles et consommatrices de main-d'œuvre qui est de plus en plus rare du fait de l'exode rural massif

dans les zones de production du Togo, du Sénégal et du Bénin (Adoukonou-Sagbadja et al., 2006 ; USAID, 2008 ; Ballogoun, 2013).

Contrairement à l'âge, le niveau de scolarisation a eu un effet positif et significatif au seuil de probabilité de 1% sur le choix des producteurs à cultiver le fonio. En effet, plus le niveau de scolarisation des producteurs était avancé, plus la tendance à produire le fonio était élevée. D'une manière ou d'une autre, la scolarisation a permis aux producteurs d'avoir plus facilement accès à l'information. Celle-ci constitue sans doute l'un des avantages de la culture du fonio. Le niveau de scolarisation revêt en termes d'adoption ou de prise de décision une importance particulière. Elle détermine bien le choix des producteurs, au lieu d'influencer l'utilisation de variétés améliorées de riz dans les communes de Dassa-Zoume et Glazoué au centre du Bénin (Midingoyi, 2003).

Le nombre d'actifs agricoles a un effet positif et significatif au seuil de probabilité de 10% sur son choix à cultiver ou non le fonio. En effet, plus le nombre d'actifs agricoles est important, plus les producteurs ont été disposés à produire le fonio. Cette observation confirme bien que le fonio semble être une activité exigeante en main-d'œuvre. Ainsi, plus le ménage dispose d'actifs agricoles et donc de main-d'œuvre, plus il lui est possible d'utiliser cette main-d'œuvre pour la production du fonio. Par ailleurs, en utilisant cette main-d'œuvre pour la production du fonio, le ménage compte voir diversifier les aliments disponibles et, ce faisant, améliorer sa sécurité alimentaire. Ces résultats sont en accord avec les observations de (Adoukonou-Sagbadja et al., 2006 ; USAID, 2008 ; Ballogoun, 2013), qui stipulent que la production et les opérations post-récolte du fonio sont très pénibles et consommatrices de main-d'œuvre dans la zone de l'étude et ailleurs en Afrique. Les variables telles que la commune, l'ethnie, le sexe, la situation matrimoniale, le niveau d'alphabétisation, la taille du ménage et l'activité principale n'ont pas influencé significativement le choix des producteurs à cultiver le fonio. Cet effet non significatif de la commune peut s'expliquer par le fait que toutes les communes retenues pour l'enquête étaient, bien qu'à divers niveaux, des zones de production de fonio. En plus, l'activité ne présente pas d'interdits sociaux. En effet, la production, la transformation ou la consommation du fonio ne sont sujettes à aucune restriction culturelle. Comme les précédentes variables, le niveau d'alphabétisation n'a pas d'effet significatif sur le choix de production du fonio. Ceci serait dû au fait que très peu de producteurs étant alphabétisés, ces derniers choisissent aléatoirement de produire ou non le fonio.

CIMMYT (1993) cité par Honlonkou (1999) a catégorisé les facteurs susceptibles de déterminer l'adoption par les producteurs d'une technologie en :

- facteurs propres aux producteurs : le niveau d'éducation de l'exploitant, son expérience en agriculture, son âge, son genre, son niveau de richesse, la taille de son exploitation ;
- facteurs liés à la technologie dont les fonctions économiques et alimentaires du produit, la complexité de la technologie, le coût relatif de l'innovation par rapport aux innovations de substituts ;
- facteurs institutionnels qui regroupent l'accès aux crédits, la tenure foncière, la disponibilité et l'accessibilité des marchés des produits et des facteurs, la disponibilité et la qualité de l'information sur les technologies et le développement des activités para et extra agricoles ;
- facteurs liés aux caractéristiques de la parcelle qui regroupent la nature du sol, son niveau de fertilité avant l'adoption de la technologie, les types d'adventices et le climat.

Les déterminants de la production du fonio ne sont pas toujours identiques à ceux de la production d'autres spéculations. Dans la commune de Gogounou au Nord-Est du Bénin, le choix des producteurs à cultiver la patate douce est principalement déterminé par le nombre de personnes à charge, le niveau de scolarisation et la possession d'une activité génératrice de revenu (Paraïso et al., 2012c). Dans ce cas, le niveau de scolarisation est un déterminant de la production des deux spéculations. Néanmoins, la divergence des facteurs déterminants le choix de ces deux activités implique une différence entre leurs éventuelles stratégies de promotion. Ces résultats corroborent les observations faites sur les cultures vivrières telles

que le maïs, et le riz (Yabi, 2009 ; Yegbemey, 2010). Ces résultats ne sont cependant pas en concordance avec ceux obtenus sur la pratique de l'apiculture ou la chasse au miel dans les mêmes régions d'étude. En effet, aussi bien pour la pratique de la chasse au miel que pour l'apiculture moderne, l'âge, la situation matrimoniale, le statut dans le ménage, la religion, le niveau de scolarisation, l'expérience de la migration, le nombre de personnes à charge, les nombres de femmes actives et d'enfants et l'accès au crédit n'ont pas d'effets significatifs sur les choix des formes d'exploitation du miel par des producteurs (Paraïso et al., 2012d).

À la lumière de tout ce qui précède, toute politique de promotion de la culture du fonio dans les régions de l'étude devrait tenir compte d'une part, de l'importance, de la scolarisation des populations et de leur alphabétisation et, d'autre part, de la promotion de la petite mécanisation, en vue de remédier au manque criard de main-d'œuvre agricole et, enfin de l'identification des principales contraintes à la production de cette céréale négligée, mais très importante.

## 4. Conclusion

L'âge, le niveau de scolarisation et le nombre d'actifs agricoles sont les principaux déterminants du choix des producteurs à cultiver ou non le fonio dans le Nord-Ouest du Bénin. Il n'existe pas de limites socioculturelles à la promotion de la production du fonio dans cette partie du pays. Par ailleurs, les déterminants de la production du fonio ne sont pas toujours identiques à ceux d'autres spéculations. De ce fait, la spéculation devrait avoir un plan de promotion spécifique.

## Remerciements

Nous remercions sincèrement le Laboratoire de Protection des Végétaux, de Pathologie et de Parasitologie des abeilles à la Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou au Bénin pour avoir entièrement financé cette étude. Nous adressons toute notre gratitude à tous les producteurs de fonio et autres acteurs de la filière qui ont bien voulu participer aux différentes enquêtes.

## Bibliographie

- Acakpo C.C., 2004. *Efficacité agronomique et rationalité paysanne autour de la gestion des fumures minérales et de leurs effets résiduels dans les systèmes de production coton-maïs au centre Bénin*. Mémoire Ingénieur Agronome. Université Abomey-Calavi, Bénin, 133 p.
- Adoukonou-Sagbadja H., Dansi A., Vodouhe R., Akpagana K., 2006. Indigenous knowledge and traditional conservation of Fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf, *Digitaria iburua* Stapf) in Togo. *Biodiversity and Conservation*, **15**, 2379-2395.
- Afrique Conseil, 2006a. *Monographie de la Commune de Natitingou*. Programme d'appui au démarrage des Communes, Mission de décentralisation. République du Bénin. Rapport de consultation, 85 p.
- Afrique Conseil, 2006b. *Monographie de la Commune de Boukombé*. Programme d'appui au démarrage des Communes, Mission de décentralisation. République du Bénin. Rapport de consultation, 61 p.
- Afrique Conseil, 2006c. *Monographie de la Commune de Tanguiéta*. Programme d'appui au démarrage des Communes, Mission de décentralisation. République du Bénin. Rapport de consultation, 68 p.
- Afrique Conseil, 2006d. *Monographie de la Commune de Coby*. Programme d'appui au démarrage des Communes, Mission de décentralisation. République du Bénin. Rapport de consultation, 61 p.
- Afrique Conseil, 2006e. *Monographie de la Commune de Toucountouna*. Programme d'appui au démarrage des Communes, Mission de décentralisation. République du Bénin. Rapport de consultation, 63 p.

- Association Ivoirienne des Sciences Agronomiques, 1991. Le développement agropastoral et agro-industriel du Nord de la Côte d'Ivoire. Cas des départements de Korhogo-Boundiali-Ferkessédougou. *Quatrième assise*, p. 20-25.
- Balogoun V.Y., 2013. *Systèmes post-récolte, transformation, qualité du fonio et produits dérivés au nord du Bénin*. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi. Bénin, 152 p.
- Bardin L., 1977. *L'analyse de contenu*. PUF, Paris, 145 p.
- Besançon S., 2000. *Étude de l'influence de la consommation de fonio dans le traitement du diabète sucré au Mali*. Mémoire D.E.S.S., Université de Montpellier II, France, 95 p.
- CIMMYT Economics Program, 1993. *The Adoption of Agricultural Technology: A Guide for Survey Design*. CIMMYT, Mexico, 98 p.
- Dantsey H., 1998. Situation du fonio (*Digitaria exilis*) au Togo. *Actes du premier atelier sur la diversité génétique du fonio (Digitaria exilis Stapf.) en Afrique de l'Ouest*. Institut Togolais de la Recherche Agricole, Conakry, 174 p.
- Dossou-Yovo S., 1998. *La culture du fonio au Bénin : état des connaissances actuelles et perspectives*. In : Vodouhe S.R., Zannou A., Dako E.A. (eds). *Actes de l'Atelier Scientifique National sur la diversité génétique du fonio, Digitaria exilis Stapf. en Afrique de l'Ouest*. Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Conakry, 245 p.
- Dramé D., Cruz J., 2002. *Rapport de Mission au Bénin et au Sénégal. Amélioration des technologies post-récolte du fonio*. CORAF, Dakar, 21 p.
- FAO, 2012. *Agricultural data: FAOSTAT*. FAO, Rome. <http://faostat.fao.org/faostat/default.jsp>
- Hassan R., 2008. Determinants of African farmer's strategies for adapting to climate change: Multinomial choice analysis. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2(1), 22 p.
- Honlonkou A., 1999. *Impact économique des techniques de fertilisation des sols : cas de la jachère Mucuna au Sud du Bénin*. Thèse de Doctorat, Université Abidjan Cocody, Côte d'Ivoire, 185 p.
- Jideani I.A., 1999. Acha (*Digitaria exilis* Stapf.) the neglected cereal. *Agriculture International*, 42, 132-134.
- MAEP, 2010. Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la Pêche /CeRPA/Service Statistique. <http://www.countrystat.org/ben/cont/pxwebquery/ma/053spd010/fr/vType/quick>
- Midingoyi G., 2003. *Évaluation économique des technologies d'intensification de la production rizicole : cas du système bas-fond au Centre Bénin*. Mémoire d'Ingénieur agronome, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 156 p.
- Paraïso A.A., Sossou A.C.G., Yegbemey R.N., Biaou G., 2011. Analyse de la rentabilité de la production du Fonio (*Digitaria exilis* S.) dans la Commune de Boukombé au Bénin. *Journal de Recherche Scientifique Université de Lomé, Série A*, 13(1), 27-37.
- Paraïso A.A., Sossou A.C.G., Daouda Iz-H., Yegbemey R.N., Sanni A., 2012a. Perceptions and adaptations of beekeepers and honey hunters to climate change in the Northwest of Benin: case of the Communes of Natitingou and Tanguéta. *African Crop Science Journal*, 20, Issue Supplement s2, 523-532.
- Paraïso A.A. et al., 2012b. Déterminants et contraintes de la production du miel dans le Nord-Ouest du Bénin : Cas des communes de Natitingou et de Tanguéta. *Journal de Recherche Scientifique Université de Lomé*, 14(1), 69-84.
- Paraïso A.A., Tokoudagba S.F., Sossou A.C.G., Yegbemey R.N., Sanni A., 2012c. Analysis of Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) production in the commune of Gogounou, Benin. *International Journal of Science and Advanced Technology*, 2(11), 46-53.
- Paraïso A.A., Tokoudagba S.F., Olodo G.P., Yegbemey R.N., Sanni A., 2012d. Beekeeping and Honey production in Northwest Benin: A Case Study of the Communes of Natitingou and Tanguéta. *International Journal of Science and Advanced Technology*, 2(12), 11-23.
- PNUD, 2008. *Rapport national sur le développement humain au Bénin 2007/2008. Responsabilité sociale, corruption et développement humain durable*. République du Bénin, 245 p.
- USAID, 2008. *La chaîne de valeur de la filière fonio au Sénégal : Analyse et cadre stratégique d'initiative pour la croissance de la filière*. SAGIC IQC No. 685-I-01-06-00005-00, 95 p.

- Vodouhè S.R., Zannou A., Achigan Dako E.G., 2003. *Actes du premier atelier sur la diversité génétique du fonio (Digitaria exilis Stapf.) en Afrique de l'Ouest. Conakry, Guinée, 4-6 août 1998.* IPGRI, Rome, 73 p.
- Wanlin P., 2007. L'analyse de contenu comme méthode d'analyse qualitative d'entretiens : une comparaison entre les traitements manuels et l'utilisation de logiciels. *Recherches Qualitatives – Hors Série – N° 3. Actes du colloque bilan et perspectives de la recherche qualitative.* Association pour la recherche qualitative, 243-272.
- Yabi A.J., 2009. Efficiency in rice production: Evidence from Gogounou District in the North of Benin. *Annales des Sciences Agronomiques*, 2(12), 61-75.
- Yegbemey R.N., 2010. *Analyse économique des exploitations rizicoles de la commune de Malanville.* Thèse d'ingénieur agronome, Université de Parakou, Bénin, 75 p.
- Zannou A., Vodouhè R., 1998. Executive summary of the workshop on genetic diversity of *Digitaria exilis* in West Africa, held in Conakry (Guinea). *Actes du premier atelier sur la diversité génétique du fonio (Digitaria exilis Stapf.) en Afrique de l'Ouest.* Conakry, 105 p.





## Contribution des femmes rurales à la sécurité alimentaire au Cameroun : Quels apports du conseil à l'exploitation familiale ?

Ngouambe Nestor, Ministère de l'Agriculture et du Développement rural, Cameroun,  
E-mail : ngouambe@gmail.com

### Résumé

En Afrique subsaharienne, les nouveaux dispositifs de vulgarisation basés sur des approches participatives promus par les structures publiques et privées jouent un rôle clé dans l'amélioration de la productivité et de la sécurité alimentaire des exploitations agricoles familiales. L'objectif de cette étude est de déterminer le rôle des dispositifs d'appui-conseil étudiés dans l'accompagnement des femmes en vue d'améliorer la sécurité alimentaire des ménages ruraux. L'étude s'est appuyée sur l'approche genre et le concept de sécurité alimentaire. Le dispositif d'appui-conseil à l'exploitation a servi de cadre d'analyse. Notre échantillon stratifié regroupait 19 conseillers, et les 192 productrices. Les femmes rurales interrogées et ayant participé aux activités de conseil à l'exploitation familiale (CEF) mises en œuvre par les trois dispositifs ont déclaré avoir acquis les notions essentielles pour la gestion de la sécurité alimentaire de leurs ménages. Elles ont valorisé leurs savoir-faire en matière de dynamisme, de transformation des produits locaux et d'adoption des innovations malgré leur faible niveau de scolarisation. L'étude confirme le rôle moteur des femmes rurales dans la production et la transformation des denrées. La politique alimentaire du Cameroun peut s'appuyer sur le dynamisme de celles-ci pour booster son développement et atteindre son objectif d'autosuffisance alimentaire d'ici 2035.

### Contribution of rural women to food security in Cameroon: what role of advisory services?

In sub-saharan Africa, the new extension devices based on participatory approaches, plays a key role in the improvement of the productivity of family farming. The exclusion of women in the access of rural services, has maintained Cameroon in a stagnant situation of food insecurity. Agricultural advisory services (AAS) experienced in Cameroon since 1998 by both private and public organizations have proved its efficacy concerning the implication of rural women in its strategy of reducing food insecurity. The main objective of this study was to determine the role played by AAS in improving women capacity in food security. Gender and development, food security and extension device where used as theoretical framework. Our stratified sample was focus on advisers and rural women. All the 192 women interviewed declared that they have participated to AAS and acquired basic knowledge to the management of food security in their respective households. Due to the financial assistance given by the device, women have valorized their local knowledge concerning their dynamism, transformation of local products and adoption of innovations based on their needs in spite their low school level. According to the fact that it is recognized that rural women play a key role in food production, Cameroonian food policy can take advantage for their dynamism to boost its development and achieve its main goal of food self-sufficiency in 2035.

## 1. Introduction

«La sécurité alimentaire existe quand tous les êtres humains ont à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive (...)» (Sommet mondial sur l'alimentation, 1996). L'accès limité à une nourriture ou la consommation d'une nourriture inadéquate est une situation d'insécurité alimentaire (FAO, 2012). Selon le PAM (2011), d'une façon générale, l'insécurité alimentaire au Cameroun touche 9,6% des ménages ruraux

contre 6,7 % des ménages urbains. Pour survivre, 72 % des ménages urbains consomment les aliments moins chers et 44,8 % des ménages ruraux réduisent les quantités consommées. La vulnérabilité globale du pays est de 30 %. Selon l'IFAD (2012), cette situation est due à la baisse de la productivité agricole, à l'absence d'une politique alimentaire adéquate, aux inégalités de genre et à la pauvreté. Le PAM (2011), souligne qu'au Cameroun, la production alimentaire est assurée à 90 % par les exploitations familiales et les femmes y contribuent pour 80 %. Cependant, malgré ce rôle prépondérant que jouent les femmes dans la sécurité alimentaire en particulier, ce n'est que depuis une vingtaine d'années que les dispositifs de vulgarisation et de conseil agricoles publics et privés, évoluent vers des approches participatives et prennent progressivement en compte les femmes, généralement au travers de programmes spécifiques.

Ces dispositifs basés sur des approches participatives visent l'amélioration des capacités de prise de décisions des producteurs en vue d'assurer, entre autres, leur sécurité alimentaire, à l'exemple du conseil à l'exploitation familiale (CEF) expérimenté au Cameroun depuis 1998 (Djamen et al., 2011). Le conseil à l'exploitation familiale accorde une attention particulière aux femmes rurales garantes de la nutrition de la famille (Cohen, Lemma, 2011). L'intérêt croissant porté aux femmes par les différents dispositifs, leur a permis de bénéficier des services d'appui-conseil offerts par le Ministère de l'Agriculture et du Développement rural (MINADER). Ces services sont fournis par le programme d'amélioration de la compétitivité des exploitations agropastorales (ACEFA), expérimenté depuis 2008 dans 5 régions du Cameroun (Nord, extrême-Nord, Adamaoua, Ouest et Sud) et le programme de vulgarisation et de Recherche Agricole (PNVRA), expérimenté sur l'étendue du territoire national depuis 1988 sous l'approche « *training and visit system* » et depuis 2002 sous l'approche facilitation-conseil. Des dispositifs privés expérimentent aussi le CEF, à l'exemple de l'association pour le développement des exploitations agricoles du Cameroun (ADEAC) depuis 2006 à Akonolinga à travers son projet « valorisation des innovations paysannes ». La prise en compte croissante des femmes par ces dispositifs renforce leur rôle, et leurs capacités dans la sécurité alimentaire de la famille (Nguoumbé, Ondoua, 2010 ; Djamen et al., 2011). Cette étude s'interroge sur le rôle joué par les dispositifs d'appui-conseil dans l'accompagnement des femmes rurales, sur les voies et moyens pour améliorer leurs contributions à la sécurité alimentaire de leurs familles et des populations ?

## 2. Méthodologie

### 2.1. Cadre conceptuel

La théorie de production est utilisée pour définir les objectifs de production d'une exploitation sur laquelle le dispositif d'appui-conseil à l'exploitation familiale aura prévu de faire un diagnostic. Cependant, une approche de conseil à l'exploitation agricole doit tenir compte des besoins de l'exploitation de façon globale en appréhendant la complexité de son fonctionnement (Marshall et al., 1994) et en distinguant les rôles de chaque membre (hommes, femmes et enfants).

#### 2.1.1. Le concept genre et développement (GED)

Le genre fait référence à l'ensemble des caractéristiques associées aux hommes et aux femmes dans une société et dans un contexte spécifique d'un individu. L'approche genre met l'accent sur les rôles sociaux des hommes et des femmes et favorise la prise de conscience de l'impact de la répartition des rôles entre les hommes et les femmes sur le développement (Direnberger, 2008). L'approche genre et développement est aussi un outil d'analyse permettant de décrire, de valoriser le potentiel des hommes et des femmes séparément. Dans le cadre de cette étude, il s'agit d'analyser spécifiquement la contribution séparée des femmes rurales à la sécurité alimentaire du ménage.

La vulnérabilité à l'insécurité alimentaire est la mesure du degré de risques auxquels les membres d'une famille, d'une communauté ou d'un pays sont exposés lorsqu'ils se trouvent face à des situations menaçant leur vie et leurs moyens de subsistance (PAM, 2011).

## 2.2. Présentation des zones d'études

La présente étude a été menée dans trois régions du Cameroun (Figure 1).



Figure 1. Localisation des zones d'étude.

### 2.2.1. Le Nord (département de la Bénoué)

Le conseil à l'exploitation familiale (CEF) fut expérimenté dans la région du Nord-Cameroun dès 1998 (Djamen et al., 2003). Le secteur agricole fait face à des défis complexes tels que les aléas climatiques qui influent négativement sur la sécurité alimentaire (Wambo et al., 2003). La zone péri-urbaine et rurale de Garoua est fortement touchée par l'insécurité alimentaire. Selon le PAM (2011), 63 % de la population de cette région sont en insécurité alimentaire et 3,7 % des ménages ruraux sont victimes de l'insécurité alimentaire sévère (situation où le ménage a des moyens limités et consomme en permanence des aliments pauvres). Les femmes sont principalement chargées des cultures vivrières : l'arachide, le maïs, l'oignon, le mil-sorgho et dans une certaine mesure le riz. Le dispositif ACEFA a été bien implanté dans les groupements de la Bénoué, grâce aux appuis financiers octroyés (Tabouguia, 2011).

### 2.2.2. L'Ouest (département de la Menoua)

L'Ouest est considéré comme le grenier du Cameroun en termes de production alimentaire. Les producteurs sont bien organisés en Groupe d'Initiatives Communes (GIC) et en coopératives. Le vivrier (maïs, macabo, manioc, haricot) est cultivé par les femmes qui sont exclues des héritages fonciers. Depuis 2010, cette zone du Cameroun est victime des effets du changement climatique (sécheresse) qui augmentent le niveau d'insécurité alimentaire (PAM, 2011). Selon ce même auteur, 43 % de la population sont en insécurité alimentaire et 3,3 % de la population rurale sont victimes de l'insécurité alimentaire sévère avec une vulnérabilité d'environ 30 %. Dans la Menoua, le PNVRA est l'un des dispositifs de vulgarisation le plus ancien et le plus implanté.

### 2.2.3. Le Centre (département du Nyong et Mfoumou)

Dans le Centre-Cameroun, les femmes sont très actives dans la transformation artisanale des denrées alimentaires. Ce sont surtout les hommes qui sont organisés et impliqués dans la culture du cacao, mais les femmes s'impliquent progressivement aussi dans cette culture. À Akonolinga, la banane-plantain et le cacao sont les principales cultures de rente. L'insécurité alimentaire touche moins de 5 % de la population dont moins d'1 % des ruraux sont en insécurité alimentaire sévère. Selon Ngouambé et Ondoua (2010), ADEAC est la seule structure privée ayant introduit les services conseil à l'exploitation familiale auprès d'un réseau de 1 118 producteurs. S'appuyant sur la démarche de CEF expérimentée au Nord-Cameroun à partir de 1998 par le Pôle Régional de Recherche Appliquée au développement des Savanes d'Afrique Centrale (PRASAC), la stratégie de l'ADEAC est basée sur l'inventaire des besoins alimentaires pour mieux exprimer les besoins en intrants et déterminer le montant de crédit à octroyer.

Le calendrier agricole (Tableau 1) montre que, dans le Nord, il y a une seule saison de pluies qui dure trois mois. Ainsi tout est produit et récolté durant cette période. De ce fait, il faudra stocker et gérer la nourriture sur un an ce qui rend les populations plus vulnérables. Par contre dans le Centre et à l'Ouest, on observe deux campagnes agricoles correspondant à deux saisons de récolte. Les ménages ont moins besoin de stocker mais ils doivent bien gérer les récoltes sur les périodes courtes.

**Tableau 1.** Calendrier agricole dans les zones d'études.

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Garoua		Récolte de contre saison					Soudure			Semis de contre saison		
						Semis				Récolte pluviale principale		
Akonolinga	Récolte											
			Semis	Période de moindre disponibilité		Récolte pluviale principale						Récolte
								Semis deuxième campagne agricole				
Santchou												

Source : adapté de PAM (2011).

## 2.3. Caractérisation des dispositifs d'appui-conseil mis en œuvre pour la sécurité alimentaire

Pour mieux ressortir l'action de chaque dispositif, nous avons retenu un dispositif par zone à savoir : ACEFA à Garoua, ADEAC à Akonolinga et PNVRA à Santchou (Tableau 2).

**Tableau 2.** Caractérisation des dispositifs d'appui-conseil étudiés.

Type	PNVRA public	ACEFA public	ADEAC privé
<b>Zone géographique</b>	Territoire national	5 régions : Adamaoua, Nord, Ouest, Sud, nord-ouest	2 régions : Centre et Est
<b>Financement du dispositif</b>	Fonds PPTE	Fonds C2D de l'AFD	Autofinancement et producteurs
<b>Objectifs</b>	Améliorer la productivité des exploitations familiales	Améliorer la compétitivité et le revenu des exploitations agropastorales	Mieux estimer les besoins en intrants et suivre les activités de production
<b>Profil des agents</b>	AVZ : agent technique, technicien, agronome	CGP : Technicien supérieur ou bac + 2 ans d'expérience en animation rurale	Animateur de niveau CEPE résidant au village concerné
<b>Groupe cible</b>	Organisations paysannes (OP) volontaires	Groupements Paysans (GP) ayant exprimé une demande	Producteurs membres des mutuelles d'épargne et de crédits
<b>Tâches de l'agent</b>	Accompagnement formation et conseil	Accompagnement et conseil	Encadrement et conseil
<b>Taux d'encadrement</b>	Au moins 8 OP/AVZ soit 80 paysans/AVZ	12 GP/CGP soit 120 paysans/CGP	100-120 paysans par animateur
<b>Descente d'encadrement/moyens</b>	16 fois /mois avec motos	14 fois /mois avec motos	20 fois avec ou sans vélos
<b>Mode de sélection des agents</b>	Agents publics recrutés ou nommés	Agents publics recrutés ou nommés	Élus par les membres des mutuelles
<b>Approches utilisées/ année de début</b>	Training and Visit system (1988-2002) et Facilitation-conseil (depuis 2002)	Appui-conseil (depuis 2008)	Encadrement (2000-2005) et Accompagnement-conseil (depuis 2006)
<b>Démarches</b>	identification-Diagnostic-projet triennaux-Planification-suivi-bilan	Contrat-caractérisation-diagnostic-plan d'action-suivi- accompagnement	Diagnostic-inventaire des besoins-suivi des parcelles-bilan des récoltes
<b>Outils</b>	Fiche des objectifs, fiche de synthèse, tableau de bord, fiche de planification	Carnet d'exploitation, fiche de projet, fiche de visite, etc...	Fiche des besoins, fiches des récoltes, fiche de suivi, fiche de descente.
<b>Thématique</b>	Sécurité alimentaire, Prévision des campagnes, suivi des cultures et bilan technique	Elaboration projets, suivi des cultures et bilan économique, trésorerie	Sécurité alimentaire ; Prévision des campagnes, suivi des cultures et analyse technico-économique
<b>Fourniture d'intrants</b>	inexistant	Sur la base des micros projet (de 500 mille à 4 millions) avec 15 % d'apport personnel	Crédits intrants sur la base des besoins inventoriés (de 200 mille à 1 million)
<b>Cofinancement des bénéficiaires</b>	aucun	aucun	Prélèvement de 25 F/kg de cacao vendu et 500 F/ Producteur/mois

Légende : PPTE : Pays Pauvre très Endetté ; C2D : Contrat de Désendettement pour le développement ; AFD : Agence Française de Développement ; AVZ : Agent de Vulgarisation de Zone ; CGP : Conseiller de Groupement paysans ; CEPE : Certificat d'Étude Primaire et Élémentaire.  
Source : adapté de MINADER/MINEPIA (2008), Achancho (2008).

## 2.4. Échantillonnage

La technique d'échantillonnage stratifié a été utilisée. Elle consiste à subdiviser les producteurs en groupes homogènes (strates) puis à extraire un échantillon aléatoire de chaque strate. Ceci a permis d'avoir 25 groupements paysans à Garoua, 12 à Akonolinga et 18 à Santchou. Ensuite un tirage aléatoire sans remise a permis de sélectionner les conseillers à interviewer à raison d'un conseiller pour 3 groupements. Soit 9 conseillers de groupements (CGP) à Garoua, 4 animateurs à Akonolinga et 6 agents de vulgarisation de zone (AVZ) à Santchou. Puis au sein de chaque groupe, suivant un taux de représentativité de 20%, 192 productrices ont été enquêtées, choisies de façon aléatoire parmi les groupes mixtes et les groupes de femmes. Soit 85 à Santchou, 63 à Akonolinga et 48 à Garoua.

## 2.5. Collecte des données

Les données ont été collectées à Akonolinga d'abord en 2010 (Août-Septembre), puis en 2011 (Octobre-Décembre). À Garoua, la collecte s'est faite en 2011 (Juillet-Août). À Santchou la collecte a commencé en 2011 (Novembre-Décembre) et s'est achevée en 2012 (Avril-Août). Des guides d'entretiens ont été administrés aux conseillers pour savoir comment ils travaillent particulièrement avec les femmes. Un questionnaire structuré a été administré auprès des femmes membres des groupements impliqués pour déterminer leur participation aux activités de conseil, les thèmes et modules suivis, les difficultés rencontrées, les perceptions sur la qualité du conseil, son intérêt par rapport à leurs préoccupations, et sur la gestion du ménage.

## 2.6. Analyse des données

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel SPSS et Excel. Nous avons utilisé la triangulation et la carte à dires d'acteurs pour analyser les perceptions des enquêtés et différencier les performances des dispositifs. L'analyse des fréquences et des moyennes ont permis d'apprécier le taux de participation des femmes et degré de perception des changements.

## 3. Résultats

### 3.1. La formation, base des dispositifs de conseil étudiés

#### 3.1.1. Type de services d'appui-conseil rendus aux femmes

Dans la figure 2, on constate que le PNVRA et ACEFA ont une bonne maîtrise de l'appui technique car tous les agents du PNVRA et ACEFA sont issus d'une école de formation d'agriculture (technicien agricole, zootechnicien, agent technique, ingénieur, etc.). Par contre les animateurs de l'ADEAC sont les paysans ayant bénéficié pour la majorité des formations de courtes durées en agriculture. ADEAC est le seul qui accompagne les groupes à la commercialisation en organisant les ventes groupées sur place au village (cacao, maïs, macabo, concombre). Néanmoins 80% des femmes des groupements retenus ont participé aux activités du PNVRA, 75% à celles d'ADEAC et 71,4% à celles d'ACEFA.

#### 3.1.2. Types de formations sur la sécurité alimentaire

La figure 3 montre que le PNVRA et ACEFA se sont plus attardés sur la gestion des stocks céréaliers et vivriers dans leur zone respective. Seule ADEAC a formé les femmes sur l'inventaire des besoins alimentaires en fonction de la taille du ménage (8 en moyenne) et ceci pour mieux s'assurer du montant de crédit à octroyer. Le diagnostic de la sécurité alimentaire qui consiste à inventorier les stocks existants et ceux probablement destinés uniquement à la consommation, a été abordé par chaque dispositif étudié. 80%, 75% et 60% des femmes respectivement à Santchou, Akonolinga et Garoua, pensent que leur capacité de diagnostic de la sécurité alimentaire est améliorée (Tableau 3).



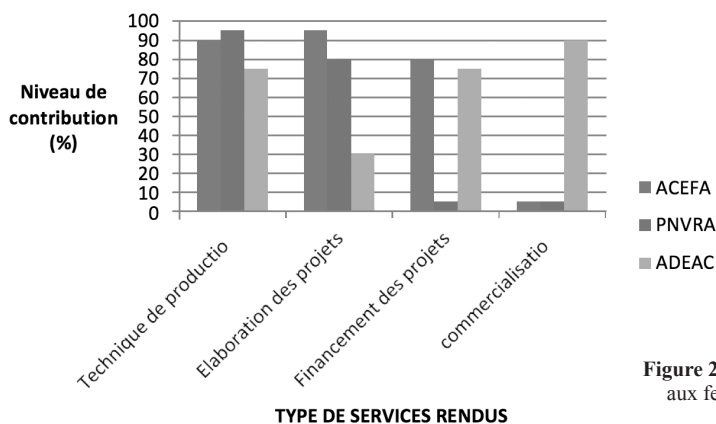


Figure 2. Les types de services rendus aux femmes selon les dispositifs.

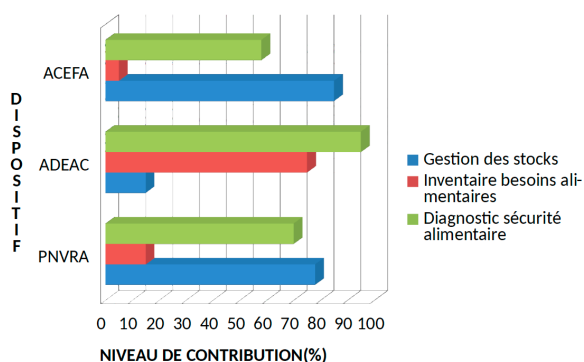


Figure 3. Les points abordés pour la sécurité alimentaire dans les trois dispositifs étudiés.

Tableau 3. Perception par les enquêtés des changements dus au conseil.

	Garoua	Santchou	Akonolinga
Capacité de diagnostic de la sécurité alimentaire améliorée	60 %	80 %	75 %
Indicateurs d'amélioration du diagnostic	Quantité totale à consommer (65 %) Planification des récoltes (35 %)	Inventaire des besoins (25 %) Gestion des stocks céréalières (75 %)	Inventaire des besoins (45 %) Répartition des récoltes (55 %)
Changement perçu	Grenier plein (65 %) Rendement amélioré (35 %)	Cultures plus diversifiées (30 %) Réduction des pénuries (40 %) Rendement augmenté (30 %)	Besoins des enfants presque couverts (45 %) Superficies cultivées augmentées (55 %)

### 3.3 Les femmes valorisent leurs savoirs locaux pour la sécurité alimentaire

Les innovations issues de la recherche et vulgarisées par les agents ont favorisé la valorisation des connaissances locales de femmes dans chaque zone (Tableau 4).



**Tableau 4.** Valorisation des innovations et savoirs locaux par les femmes dans chaque dispositif étudié.

Nombre de groupes impliqués	Innovations adoptées	Savoirs locaux démontrés	Objectifs visés
ACEFA			
3	Moulin à moudre avec moteur diesel. Rendement : 1,5 t/h	Fabrication de la farine de céréales	Faciliter la disponibilité et la conservation
		Fabrication bouillie et boisson fermentée (« bili-bili »)	Réduire les pertes post-récolte et avoir un gain supplémentaire
ADEAC			
3	Semence améliorée de manioc	Mise en place des parcelles de démonstration	Doubler la production en vue de la transformation
3	Semence améliorée de cacao	Transformation du cacao	Fabriquer le beurre de cacao et du chocolat artisanal
PNVRA			
6	Semence améliorée de manioc	Transformation du manioc	Doubler la fabrication du tapioca pour approvisionner la ville universitaire de Dschang
	Râpe mécanique à diesel : rendement : 2 t/h		

Légende : t/h : tonne par heure.

Grâce aux semences améliorées de maïs et manioc par exemple, les femmes ont valorisé leurs savoir-faire en fabrication de la bouillie dans le Nord, de la transformation du manioc à l'Ouest et au centre.

## 4. Discussion

### 4.1. Le CEF au centre de l'accompagnement des femmes rurales pour la sécurité alimentaire

La FAO pense que « *l'implication des femmes dans les dispositifs d'appui au monde rural est une idéologie incontournable ; car elles sont responsables de plus de la moitié de la production alimentaire mondiale et s'acquittent pratiquement de toutes les tâches indispensables à garantir la sécurité alimentaire de la famille, et assurer une nutrition équilibrée et une vie saine(...)* » (FAO, 2011). C'est à la vulgarisation à travers les conseillers que revient la charge d'accompagner, éduquer, informer et conseiller les producteurs à inventorier leurs besoins alimentaires, leurs besoins en intrants et la mise en place de leurs projets de production (William, Kalim, 2003). D'ailleurs comme le souligne la Via Campesina (2010), la sécurité alimentaire et la réduction de la pauvreté en milieu rural sont fortement liées à l'accompagnement des petits producteurs. Et sachant que, près de 80 % de la production de petits producteurs est assurée par les femmes, il est tout à fait important que le CEF prenne davantage en compte leurs besoins car, en le faisant (Mehra, Hill, 2008 ; Direnberger, 2008) leur capacité d'action va s'améliorer et elles pourront ainsi produire suffisamment de vivres pour toute la famille, et générer suffisamment de revenus pour prendre soin de celle-ci. Même si le coût du CEF est parfois inaccessible aux petits producteurs (Havard, Djamen Nana, 2010), son approche restera au cœur du fonctionnement des exploitations familiales et réduira l'insécurité alimentaire. Ceci va dans le même sens que les études menées par la FAO (nd) au Kenya et au Niger (GRAP, nd) qui montrent que lorsque les femmes ont accès aux services de vulgarisation, notamment aux semences améliorées, le rendement des cultures augmente de 17-22 %.

À Akonolinga, la vulgarisation des semences améliorées de manioc et de cacao a favorisé la valorisation des techniques locales de zéro labour sur maïs, les techniques locales

de transformations du manioc et surtout la production du cacao en vue de la fabrication du chocolat local. Si ces savoirs sont canalisés par la recherche, la transformation semi-industrielle pourra se développer et combler progressivement les demandes locales. C'est également ce que pensent Janin et Dury (2012) lorsqu'ils précisent qu'« *il est important de s'intéresser à la valorisation des pratiques profanes des paysans et diffuser les innovations locales dans le cadre des stratégies de réduction de l'insécurité alimentaire* ».

## 4.2. Les femmes rurales, moteur de la sécurité alimentaire ?

S'il est vrai que c'est à la femme que revient l'essentiel de la production et la transformation des denrées alimentaires, l'on se demande (FAO, 2011) quelles sont les chances pour qu'elles soient le moteur de la croissance et de la sécurité alimentaire ? L'étude montre que, si les femmes s'impliquent activement dans la production, c'est pour le bien-être du ménage. Par exemple au Nord-Cameroun, on a constaté une prédominance des femmes sur les cultures vivrières, principalement pour la recherche de l'autosuffisance alimentaire (Mbetid et al., 2006). Pour GRAP (nd), les femmes investissent une grande partie de leur revenu à la sécurité alimentaire. Le même auteur souligne qu'au Niger, les femmes ont tendance à initier des solutions collectives pour améliorer la sécurité alimentaire de leur famille.

Même si la démarche d'appui conseil appliqué au Cameroun a essayé de prendre en compte la diversité des centres de décisions des femmes dans la gestion de la sécurité alimentaire, et valoriser leur potentiel et savoirs locaux, on ne saurait affirmer que la sécurité alimentaire est assurée dans ces zones. D'ailleurs, Janin et Dury (2012) ont souligné dans leurs travaux que le décalage entre potentialité, productivité agricole et sécurité alimentaire persiste en Afrique et nécessite de ce fait plus d'investigation. Allant dans le même sens, on constate que les femmes rurales camerounaises qui contribuent à 80 % de la production alimentaire, sont les plus vulnérables à l'insécurité alimentaire (PAM, 2011). Un paradoxe que les auteurs comme Janin et Dury (2012) et Drenberger (2008) tentent d'expliquer en soulignant que c'est parce qu'elles accordent plus de temps à la production qu'à leur propre nutrition et celle des enfants. Cette réponse montre également que le fait que la femme soit trop impliquée dans la production à la recherche du bien-être de sa famille fragilise plutôt la sécurité alimentaire de celle-ci.

Une situation semblable s'observe à l'Ouest-Cameroun qui est considérée comme le « grenier du pays », mais présente un taux de vulnérabilité à l'insécurité alimentaire le plus élevé (30 %) du pays. D'ailleurs, les récentes études menées par le PAM (2011) montrent que l'Ouest est la 3<sup>ème</sup> zone du pays touchée par l'insécurité alimentaire sévère soit 3,3 % après le Nord (3,7 %) et l'extrême Nord (4,1 %). Ceci rejoint les travaux de Dury (2012) menés dans la région de Sikasso au Mali qui montraient que cette région est considérée comme le « grenier » du Mali avec une production céréalière au dessus de la moyenne nationale (environ 441 kg/personne/an) et présente des taux de prévalence de malnutrition les plus élevés notamment chez les enfants (47 % de retard de croissance). Ceci montre tout simplement que s'investir dans la sécurité alimentaire va au-delà de la production qualitative et quantitative des aliments.

Ainsi, pour que la femme joue pleinement le rôle de moteur de la sécurité alimentaire, elle devrait accorder plus de temps à la préparation des repas équilibrés sans pour autant abandonner l'aspect production. Pour cela, les dispositifs d'appui conseil à l'exploitation doivent introduire de nouvelles thématiques qui portent sur l'éducation nutritionnelle et la gestion rationnelle du temps pour les activités champêtres et pour les tâches ménagères.

## 5. Conclusion et perspectives

Les différents dispositifs d'appui conseil mis en œuvre par ACEFA, le PNVRA et ADEAC, bien que les méthodes et outils ne soient pas identiques, ont suscité la réflexion chez les femmes, et amélioré leur capacité de diagnostic de la sécurité alimentaire. Elles s'impliquent davantage dans la sécurité alimentaire de leur famille (inventaire des besoins, gestion des stocks vivriers) et de la population (commercialisation et transformation). Dans l'optique d'avoir plus d'impact et un changement durable des actions de conseil à l'exploitation, il est impératif d'examiner et réorienter les politiques nationales pour faire en sorte que les problèmes qui limitent le rôle des femmes dans la sécurité alimentaire soient pris en compte, de faciliter aux femmes l'accès aux services agricoles et d'adapter ces services à leurs besoins. Cependant, l'accompagnement, la vulgarisation de leurs savoirs locaux et surtout l'appui financier des microprojets faciliteront leur implication. En retour, la disponibilité et la stabilité des ressources alimentaires s'en trouveront renforcées, et l'accès à l'alimentation garanti à tous. Il est suggéré que la politique nationale de vulgarisation et de conseil agricole renforce les capacités des vulgarisateurs et conseillers sur l'éducation nutritionnelle et la santé. Ces informations relayées aux femmes pourront permettre une bonne adéquation entre production alimentaire, sécurité alimentaire et qualité nutritionnelle.

## Bibliographie

- Achancho V., 2008. *Réflexion sur les services de vulgarisation au Cameroun*. [http://www.inter-reseaux.org/IMG/pdf/Cameroun\\_Service\\_agricoles\\_VAchancho-2.pdf](http://www.inter-reseaux.org/IMG/pdf/Cameroun_Service_agricoles_VAchancho-2.pdf)
- Cohen M.J., Lemma M., 2011. *Agricultural extension services and gender equality. An institutional analysis of four districts in Ethiopia*. ESSP II Working Paper 28. IFPRI, Addis Ababa, 38 p.
- Direnberger L., 2008. *Genre et sécurité alimentaire : les inégalités face à la faim. Approches sexiospécifiques des émeutes de la faim en Afrique. Genre en Action*. Bulletin n° 7. CEAN IEP, Bordeaux. [http://www.genreenaction.net/IMG/pdf/article\\_emeutes.pdf](http://www.genreenaction.net/IMG/pdf/article_emeutes.pdf)
- Djamen Nana P., Djonnéwa A., Havard M., Legile A., 2003. Du diagnostic au conseil : démarche méthodologique pour accompagner les agriculteurs du Nord-Cameroun. In : Jamin J.Y., Seiny Boukar L., Floret C. (eds). *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, mai 2002, Garoua, Cameroun*. Prasac, N'Djamena, Tchad/ Cirad, Montpellier, France.
- Djamen Nana P., Havard M., Wey J., Lefèvre D., Djomo S., 2010. Le conseil agricole, une démarche porteuse à l'épreuve des réalités : premières leçons d'une expérience de changement d'échelle au Nord Cameroun. In : Coudel E., Devautour H., Soulard C. (eds). *ISDA 2010 – Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food, 28 juin au 1 juillet, Montpellier, France*. [CD Rom].
- Djamen Nana P., Havard M., Wey J., 2011. L'évolution du conseil agricole au Nord Cameroun, source d'incertitudes pour les conseillers. *Cahiers Agricultures*, **20**(5), 370-375.
- Dury S., 2012. Le "paradoxe" de Sikasso (Mali) : pourquoi "produire plus" ne suffit-il pas pour nourrir les enfants des familles d'agriculteurs? *Cahiers Agricultures*, **21**(5), 324-336.
- FAO (nd). Les facteurs et les obstacles qui affectent le rôle des femmes dans le domaine de la sécurité alimentaire. <http://www.fao.org/docrep/x0233f/x0233f03>
- FAO, 2011. *State of Food and Agriculture. Women in agriculture: closing the gender gap for development*. FAO, Rome.
- FAO, 2012. *État de l'insécurité alimentaire dans le monde. La croissance économique est nécessaire mais elle n'est pas suffisante pour accélérer la réduction de la faim et de la nutrition*. FAO, Rome.
- GRAP (nd). *L'approche genre dans l'agriculture et sécurité alimentaire à partir de l'exemple du Niger*. [http://grap-pa.be/attachments/article/66/pb3\\_genre\\_agriculture.pdf](http://grap-pa.be/attachments/article/66/pb3_genre_agriculture.pdf)

- Havard M., Djamen Nana P., 2010. Réforme de l'accompagnement des producteurs au Nord-Cameroun : leçons d'un partenariat entre Recherche-Développement-Producteurs. *Agridape*, 26(3), 14-16.
- IFAD, 2012. *Ouvrer pour que les populations rurales pauvres se libèrent de la pauvreté au Cameroun*. [http://www.ifad.org/operations/projects/regions/PA/factsheets/ca\\_f.pdf](http://www.ifad.org/operations/projects/regions/PA/factsheets/ca_f.pdf)
- Janin P., Dury S., 2012. La sécurisation alimentaire en Afrique : enjeux controverses et modalités. *Cahiers Agricultures*, 21(5), 555-575.
- Marshall E., Bonneville J.R., Francfort I., 1994. *Fonctionnement et diagnostic global de l'exploitation agricole : une méthode interdisciplinaire pour la formation et le développement*. ENSAD, Dijon, France, 168 p.
- Mbétid-Bessame E., Havard M., Djondang K., 2006. Évolution des pratiques de gestion dans les exploitations agricoles familiales des savanes cotonnières d'Afrique centrale. *Cahiers Agricultures*, 15(6), 555-561.
- Mehra R., Hill R.M., 2008. *Women, food security and agriculture in a global marketplace. A significant shift*. International Center for Research on Women (ICRW), Washington DC. <http://www.icrw.org/files/publications/A-Significant-Shift-Women-Food%20Security-and-Agriculture-in-a-Global-Marketplace.pdf>
- MINADER/MINEPIA, 2007. *Améliorer la compétitivité des exploitations agropastorales (PNVRA)*. Version finale du document de présentation du programme. MINADER/MINEPIA, Yaoundé.
- Ngouambe N., Ondoua M., 2010. L'expérimentation du conseil à l'exploitation familiale agricole à Akonolinga : Bilan et perspective. In : Colloque SFER. *Conseil en agriculture : acteurs, Marchés et mutations, 14-15 Octobre 2010. Dijon, France*. SFER, Paris, 11 p.
- PAM, 2011. *Situation de la sécurité alimentaire et des marchés au Cameroun*. <http://www.wfp.org/foodsecurity>
- Tabouguia S.R., 2011. *Le conseil promu par le programme d'Amélioration de la Compétitivité des Exploitations Familiales Agropastorales (ACEFA) dans le département de la Bénoué au Nord Cameroun : Approche et perceptions par les acteurs*. Mémoire de fin d'étude, Université de Dschang, Cameroun, 115 p.
- Via Campesina, 2010. *L'agriculture familiale, paysanne et durable peut nourrir le Monde*. <http://viacampesina.org/downloads/pdf/fr/FR-paper6.pdf>
- William M.R., Kalim Q., 2003. *Agricultural extension, rural development and Food security challenge*. FAO, Rome.
- Wambo Yamdjeu A.H., Havard M., Njoya A., 2003. Développer l'agriculture irriguée pour consolider la sécurité alimentaire au Nord-Cameroun. In : Jamin J.Y., Seiny Boukar L., Floret C. (eds). *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, 27-30 mai 2002, Garoua, Cameroun*. Prasac, N'Djamena, Tchad.



## **Exploration et exploitation de la biodiversité**





## Faisabilité de la culture du soja (*Glycine max* (L.) Merrill) en zone cotonnière au Nord Cameroun : criblage variétal et essai de fertilisation

Oumarou Yakouba, Université de Maroua-Cameroun/Institut Supérieur du Sahel,  
E-mail : iscamle@yahoo.fr  
Wey Joseph, Cirad, Montpellier, France

### Résumé

La dynamique de développement impulsée par la production cotonnière au Cameroun est freinée depuis quelques années par la baisse générale de la fertilité des sols, une fluctuation profonde des cours mondiaux du coton-fibre, et l'augmentation du prix des intrants agricoles.

Face à cette situation, la diversification des productions agricoles est une nécessité. Parmi les cultures ciblées pour la diversification, le soja (*Glycine max*) offre de nombreux avantages tant agronomiques que nutritionnels. Cependant, les données sur l'itinéraire technique de cette spéculation doivent être actualisées. C'est dans ce sens que des essais de criblage variétal et de fertilisation ont été mis en place sur 5 sites de la zone cotonnière du Cameroun. Pour le criblage variétal, 18 variétés de différentes provenances (IITA Nigéria, Brésil et les variétés locales) ont été comparées pour leur rendement grain à l'hectare pendant deux campagnes agricoles. Le dispositif expérimental était un bloc de Fischer randomisé à 6 répétitions. Pour un objectif de rendement moyen de 2 tonnes à l'hectare, 5 variétés se sont démarquées : SJ235 (2 188 kg/ha, cycle : 105 jours); Houla 1 (2 352 kg/ha, cycle : 105 jours); TGX 1844 18 E (2 357 kg/ha, cycle : 120 jours); TGX 1910 14F (2 484 kg/ha, cycle : 120 jours); TGX 1448 2 E (2 480 kg/ha, cycle : 120 jours). La nodulation de ces variétés de soja est satisfaisante (plus de 30 nodosités par pied). La famille des variétés TGX est la moins déhiscence avec moins de 20% de déhiscence 2,5 mois après la date théorique de récolte. Pour l'essai fertilisation, la formulation en P et K (10-30) ajouté de 5 tonnes de poudre de parc à bétail (fumier) paraît suffisante. L'azote starter apporté avant la mise en place du système symbiotique n'influence pas significativement le rendement final du soja.

### Feasibility of soybean cropping (*Glycine max* (L.) Merrill) in the cotton zone in North Cameroon: varietal screening and fertilizing experiment

The dynamics of development driven by cotton production in Cameroon is hampered in recent years by the general decline in soil fertility, deep fluctuations of price in world cotton fiber, and increase in price of agricultural inputs. Faced with this situation, the diversification of agricultural production is a necessity. Among the targeted diversification crops, soybean (*Glycine max*) has many nutritional as well as agronomic benefits. However, data on the technical route of this speculation must be updated. It is in this sense that varietal screening and fertilization tests were placed on five sites in the cotton zone of Cameroon. For varietal screening, 18 varieties of different origins (IITA Nigeria, Brazil and local varieties) were compared for grain yield for two cropping years. The experimental design was a randomized Fischer block with 6 replications. For a target average yield of 2 tons per hectare, 5 varieties are distinguished: SJ235 (2 188 kg/ha, cycle 105 days) Houla 1 (2 352 kg/ha, cycle 105 days) TGX 1844 18 E (2 357 kg/ha, cycle 120 days) TGX 1910 14F (2 484 kg/ha, cycle 120 days) TGX 1448 2 E (2 480 kg/ha, cycle 120 days). Nodulation of the soybean varieties is satisfactory (over 30 nodules/plant). The family of TGX varieties is less dehiscent with less than 20% dehiscence 2.5 months after the theoretical harvest date. For fertilization trial, the formulation of P and K (10-30) added with 5 tons of powder park livestock (manure) seems sufficient. Nitrogen starter brings before the establishment of the symbiotic system does not significantly affect the final yield of soybean.

# 1. Introduction

Au Nord Cameroun, le rôle joué par la culture cotonnière est incontestable et le coton est cultivé depuis plusieurs années par une majeure partie des exploitations agricoles et reste la culture commerciale dominante (Koussoumna, Havard, 2006). Cependant, la dynamique de développement impulsée par le coton est freinée depuis quelques années par la baisse générale de la fertilité des sols, l'augmentation du prix des intrants agricoles (Mbétid-Bessane, 2002) et une crise profonde due à la baisse continue des cours mondiaux du coton-fibre du fait des distorsions liées non seulement aux subventions accordées par les grands producteurs tels que la Chine et les États-Unis à leurs producteurs, mais aussi à la forte concurrence de la fibre synthétique (Badiane et al., 2002 ; Gafsi, Mbétid-Bessane, 2003 ; Fok, 2008). Par ailleurs, il faut répondre à la demande croissante en produits alimentaires variés des populations dans cette région où les taux d'accroissement sont particulièrement élevés (5%), et échapper ainsi à la dépendance vis-à-vis des importations, et se rapprocher de l'autosuffisance (Ndam et Briltey, 2004).

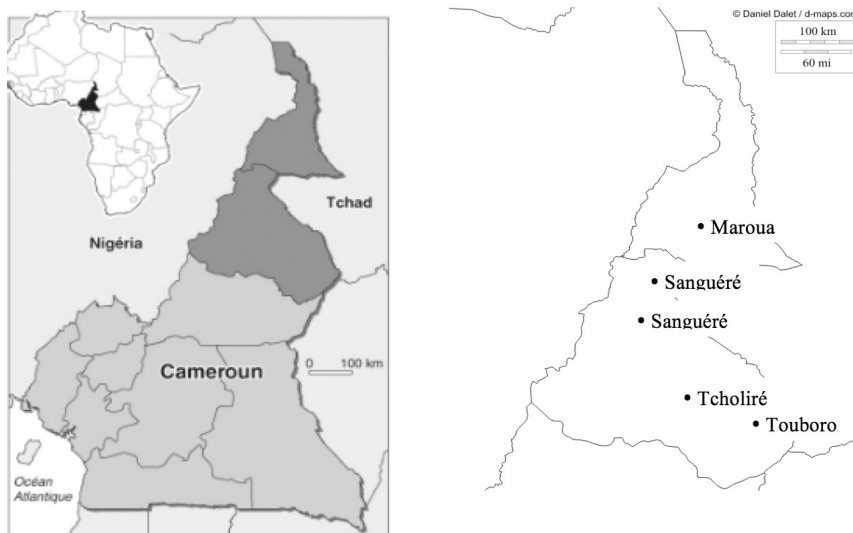
Face à ces situations, la diversification des cultures se présente comme un levier d'action pour accroître la durabilité des systèmes de production agricoles (Meynard, 2013) et diversifier les productions agricoles en vue de maintenir les revenus des producteurs et lutter ainsi contre la pauvreté subséquente. Parmi les cultures ciblées pour la diversification, le soja (*Glycine max*) est une légumineuse alimentaire qui offre de nombreux avantages tant agronomiques que nutritionnels. Il est, de ce fait, parfois considéré comme une plante miracle (Lof et al., 1990). Sur le plan agronomique, le soja possède une aptitude à fixer l'azote atmosphérique lorsqu'il est en symbiose avec des rhizobiums (Kiers et al., 2003 ; Ferguson et al., 2010). Sur le plan alimentaire, le soja est riche en protéines de bonne qualité (autour de 40% de la matière sèche) et contenant environ 20% d'huile. La graine de soja se consomme traditionnellement en alimentation humaine sous forme de *soyfoods*, terme qui regroupe diverses préparations à partir de graines entières (produits fermentés, jus de soja, etc.). En alimentation animale, l'utilisation se fait essentiellement sous forme de tourteaux déshuilés ou de graines traitées thermiquement (Javeheri, Baudoin, 2001 ; Labalette et al., 2010). La production mondiale de soja est largement dominée par trois pays : les États-Unis, le Brésil et l'Argentine. Ensemble, ces pays produisent plus de 80% du soja mondial. Loin derrière ce trio de tête, on trouve la Chine qui produit environ 7% de la production mondiale. L'Inde et le Paraguay comptent parmi les pays producteurs significatifs et réalisent chacun entre 2 et 3% de la production mondiale (Théry, 2004 ; CETIOM, 2008). L'Afrique produit 0,6 million de tonnes par an. La plupart du soja produit en Afrique vient du Kenya, Nigeria, Zimbabwe, Égypte, Afrique du Sud, Zambie, Malawi et de l'Ouganda (Dankit, Wafula, 2002). Au Cameroun, d'après les statistiques de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, moins de 10 000 tonnes de graines de soja ont été produites en 2009 (FAOSTAT, 2009). Cela montre à souhait le grand retard pris localement dans la production de cette légumineuse.

En effet, pour cette culture, les grandes lignes de l'itinéraire technique sont connues. Vers les années 1980, existait un projet de recherche-développement du soja basé à l'Ouest Cameroun (Praquin et al., 1979). Cependant, il faut actualiser certaines données. C'est dans ce sens que des essais de criblage variétal et de fertilisation ont été mis en place. L'objectif étant de mettre à la disposition du paysan des variétés adaptées aux conditions agro-climatiques de chaque site de la zone cotonnière et de déterminer une formulation NPK ajustée à la demande minérale du soja, calculée pour couvrir les exportations minérales sans prélever sur le stock du sol. L'alternative de remplacer ou de réduire la dose de fumure minérale par une fumure organique a été également étudiée.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Les sites d'étude

Le présent travail présente les résultats des expérimentations conduites durant trois campagnes agricoles (2007-2009) sur cinq sites expérimentaux de l'IRAD (Institut de Recherche Agricole pour le Développement) dans la zone cotonnière au Cameroun. Ces sites sont différents par leur pluviométrie qui va de 800 à 1 500 mm du Nord au Sud. Il s'agit de Kodek dans la région de l'extrême Nord, de Soukoundou, Sanguéré, Tcholliré et Touboro dans la région du Nord (Figure 1).



**Figure 1.** Les sites expérimentaux dans la zone cotonnière au Nord Cameroun (adapté de Koussoumna, Havard, 2006).

### 2.2. Criblage variétal

Le matériel végétal était constitué des variétés de soja (*Glycine max*) dites « locales » qui ont été introduites depuis une trentaine d'années (projet soja 1980). Ces semences ont été collectées auprès des paysans qui en cultivaient encore. D'autre part, il a été importé du matériel du Nigéria (Famille TGX) et du Brésil pour enrichir la collection. Ces variétés (18 au total) ont été comparées pour leur développement végétatif, leur cycle de culture et leur rendement grain à l'hectare sur différents sites pendant deux campagnes agricoles 2007 et 2008.

Le dispositif expérimental était de type blocs de Fischer randomisés à 6 répétitions et 16 traitements (variétés) pour la campagne agricole 2007 et 14 traitements pour la campagne 2008. Les parcelles élémentaires étaient de 45 m<sup>2</sup>. L'écartement entre les lignes de semis était de 50 cm et 6 cm sur la ligne pour une profondeur de semis de 3 à 5 cm et une densité visée de 330 000 pieds/ha. La fertilisation utilisée est celle appliquée sur le coton, 200 kg/ha de NPK (15-20-15). Les sarclages sont réalisés manuellement selon le besoin.

### 2.3. Capacité à noduler

Cinq variétés issues du criblage variétal ont été comparées pour leur capacité à former les nodosités. Les prélèvements ont été effectués sur les sites de Kodek, Sanguéré et Tcholliré

pendant la campagne agricole 2009 sur des parcelles de 400 m<sup>2</sup> par variété. Sur chaque variété, nous avons réalisé des prélèvements et comptages des nodules à 30 JAS (jours après semis) et 60 jours JAS. À chaque date, il a été prélevé au hasard sur l'ensemble de la parcelle 100 pieds de soja par variété (prélèvement destructif) sur lesquels nous avons compté le nombre de nodosités.

## 2.4. Test de déhiscence des gousses

Afin de mettre à la disposition des producteurs des informations nécessaires pour minimiser les pertes à la récolte, nous avons comparé la résistance des gousses à la déhiscence des cinq variétés issues du criblage variétal, ainsi qu'une variété brésilienne de référence, la CD 983185, connue pour sa sensibilité à la déhiscence des gousses. Les tests ont été menés sur deux sites, Kodek et Sanguéré lors de la campagne agricole 2009. Le dispositif expérimental est simplifié. Il s'agissait pour chaque variété sur les deux sites, de conduire la culture d'une bande de 400 m<sup>2</sup> de soja. Cent pieds par variété ont été identifiés et suivis pendant 2,5 mois après la date théorique de récolte. Pour chaque pied, on a compté tous les 3 jours le nombre de gousses éclatées.

## 2.5. Essai fertilisation

Les essais ont été conduits sur quatre sites de la zone cotonnière : Kodek, Sanguéré, Tcholiré et Touboro. Le dispositif expérimental était de type blocs de Fischer randomisés à 8 répétitions, 8 traitements. Les parcelles élémentaires sont constituées de 8 lignes de 10 m soit 40 m<sup>2</sup>. L'écartement entre les lignes de semis était de 50 cm et 6 cm sur la ligne pour une profondeur de semis de 3 à 5 cm et une densité visée de 330 000 pieds/ha. Le tableau 1 donne le récapitulatif des traitements comparés.

**Tableau 1.** Récapitulatif des traitements de l'essai fertilisation.

Traitement (Trt)	Formulations proposées	N (UF)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (UF)	K <sub>2</sub> O (UF)	Fumier (t/ha)
1	Couverture totale des besoins pour un rendement supérieur à 2 t/ha	20	20	60	0
2	Demi-dose en PK du Trt 1	20	10	30	0
3	Zéro engrais	0	0	0	0
4	Trt 1 + fumier	20	20	60	5
5	Trt 2 + fumier	20	10	30	5
6	Trt 3 + fumier	0	0	0	5
7	Trt 2 sans azote starter	0	10	30	0
8	Trt 1 sans azote starter	0	20	60	0

Trois questions de recherche étaient abordées dans cet essai :

- Les traitements 1, 2 et 3 comparaient deux formulations d'engrais en PK (formule de couverture totale des besoins pour une production supérieure à 2 tonnes, et la demi dose de cette formulation), en appliquant une dose unique de 20 N/ha d'azote starter.
- Les traitements 4, 5, 6 étudiaient l'effet de la poudre de parc à bétail ajoutée au fertilisant minéral sur le rendement du soja.
- Les traitements 7 et 8 étudiaient l'effet de l'azote starter sur le rendement en grain du soja.

## 2.6. Analyse des données

Les données obtenues dans les dispositifs d'essai blocs de Fischer, ont été traitées par une analyse de variance conventionnelle ; s'il ressortait des différences significatives, les moyennes ont été alors analysées par le test de Newmann et Keuls à 0,05. Le logiciel utilisé est COSTAT.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Criblage variétal

#### 3.1.1. Développement végétatif et cycle de culture

Le tableau 2 donne un récapitulatif de quelques paramètres mesurés de différentes variétés de soja pendant les campagnes agricoles 2007 et 2008.

**Tableau 2.** Quelques paramètres des variétés étudiées.

Variété	Apparition des premières fleurs (JAS)	Hauteur plante (cm)	Cycle (JAS)
Pitoa 2	-	140,38 a	135 a
Houla 2	45	112,36 b	108 c
TGX 1830-20E	44	104,69 b	108 c
TGX 1844-18E	50	72,46 c	118 b
TGX 84929-4D	44	72,21 c	106 c
TGX 1740-2F	45	71,99 c	105 c
SJ 235	46	69,90 c	107 c
CD 98 318	42	69,80 c	110 c
ESA	47	69,38 c	106 c
Houla 1	47	59,88 c	106 c
TGX 1910-14F	52	58,64 c	118 b
TGX 1448-2E	50	57,51 c	118 b
CD 211	-	53,58 c	106 c
CD 222	-	49,91 c	106 c
CD 204	-	41,05 c	106 c
TGX 1485-1D	45	38,89 c	106 c
SJ 320	44	-	107 c
Docko	43	-	108 c

Dans une même colonne, les données portant les lettres différentes sont significativement différentes à  $P = 0,05$ .

On note une différence significative entre les variétés en ce qui concerne la hauteur des plantes et le cycle de culture. Pour la hauteur des plantes, on note 2 groupes de plantes. Le premier est constitué du matériel ayant une hauteur de plante dépassant 1 m. Il s'agit de Pitoa 2, Houla 2 et TGX 1830-20E. Il a été constaté sur le terrain que ces variétés sont disposées à la verse. Le second regroupe le matériel dont la taille est inférieure à 1m. Ces résultats sont conformes à ceux de Tremblay (2003) qui ont observé que l'indice de verse dépend du cultivar de soja. Plus les cultivars sont de grande taille, plus ils sont disposés à la verse. S'agissant du cycle de culture, les variétés mise en test se regroupent en trois catégories : le matériel à cycle long (135 jours) constitué par la variété Pitoa 2 ; le matériel à cycle intermédiaire (118 jours) regroupant 3 variétés de TGX et le matériel à cycle relativement court regroupant le restant du matériel testé.

### 3.1.2. Rendement grain des variétés testées

Le tableau 3 présente les rendements grain (kg/ha) par variété sur trois sites d'étude pour la campagne agricole 2007.

**Tableau 3.** Rendement grain par variété et par site pour la campagne agricole 2007.

Sanguéré		Soukoundou		Tcholiéré	
Variété	RDT (kg/ha)	Variétés	RDT (kg/ha)	Variétés	RDT (kg/ha)
TGX 1844-18E	1 971,14 a	TGX 1830-20E	3 193,32 a	TGX 1844-18E	2 417,20 a
TGX 1830-20E	1 759,98 a	TGX 1448-2E	3 073,43 ab	TGX 1910-14F	2 296,24 a
TGX 1448-2E	1 714,60 a	TGX 1910-14F	2 894,46 abc	ESA	2 226,08 a
TGX 1910-14F	1 422,34 a	Houla 2	2 775,98 abc	TGX 1485-1D	2 205,18 a
Pitoa 2	1 226,34 a	Houla 1	2 548,55 abcd	TGX 1448-2E	2 165,21 a
TGX 84929 4D	1 128,34 a	TGX 1844-18E	2 349,15 abcde	SJ235	2 083,91 a
SJ 235	1 085,29 a	TGX 1485-1D	1 989,14 abcdef	Houla 1	2 051,78 a
Houla 2	977,26 a	TGX 84929-4D	1 863,8 abcdefg	TGX 1740-2F	2 017,01 a
TGX 1740-2F	970,07 a	SJ235	1 684,14 bcdefg	Houla 2	1 698,65 b
Houla 1	854,10 a	ESA	1 625,31 cdefg	TGX 84929-4D	1 664,60 b
TGX 1485-1D	787,41 a	TGX 1740-2F	1 509,25 cdefg	TGX 1830-20E	1 597,57 b
CD 983 185	661,00 a	CD 211	1 265,48 defg	Pitoa 2	1 475,85 b
ESA	626,67 a	Pitoa 2	1 087,25 efg	CD 222	1 400,29 b
CD 211	557,13 a	CD 222	781,73 fg	CD 211	1 387,96 b
CD 222	128,81 a	CD 204	567,19 fg	CD 204	1 271,84 b
CD 204	86,67 a	CD 983 185	478,38 g	CD 983 185	843,24 c

Dans une même colonne, les données portant les lettres différentes sont significativement différentes à  $P = 0,05$ .

L'analyse de variance ( $P = 0,05$ ) montre qu'à l'exception de Sanguéré, il existe une différence significative entre les variétés. Les variétés brésiliennes (CD) présentent des rendements très faibles dans l'ensemble des sites. Les variétés locales (Houla 1, Houla 2, SJ 235) ont des rendements intermédiaires et sont relativement stables dans le classement des variétés dans chaque site. Les meilleurs rendements sont observés pour les variétés TGX 1830-20E, TGX 1448-2E, TGX 1844-18E et TGX 1910-14F avec des rendements moyens atteignant les 3 tonnes/ha sur le site de Soukoundou. Par ailleurs ces variétés sont également stables dans leur comportement. On les observe toujours dans le groupe de tête sur les différents sites.

Le tableau 4 présente les rendements par variété, tout site confondu, pour la campagne agricole 2008. Les résultats de la campagne 2007 nous ont permis d'éliminer trois variétés brésiliennes (CD 211, CD 222, et CD 204) et une variété locale (Pitoa 2), et nous avons introduit deux nouvelles variétés (Docko et SJ 320) dans le dispositif.

Les rendements par variété sont globalement meilleurs que lors des campagnes précédentes. L'analyse de variance montre une différence significative entre les variétés. Comme lors de la campagne précédente, les variétés TGX (TGX 1910-14F, TGX 1448-2E, et TGX 1844-18E) sont en tête. Ce matériel est très performant. Il est probable que leur capacité à fixer l'azote en soit la principale explication. En effet, ces trois matériaux originaires de l'IITA du Nigeria extériorisent une couleur de feuillage d'un vert particulièrement prononcé qui peut signifier un fonctionnement performant de la fixation biologique de l'azote. Les variétés Houla 1 et SJ235 maintiennent aussi leur productivité intermédiaire.

Ces deux années d'expérimentations sur le criblage variétal du soja nous permettent de mettre en évidence des variétés dont les rendements à l'hectare sont comparables à ceux des grands pays producteurs tels que le Brésil, les États Unis, l'Argentine et la Chine (Aubert et al., 2001 ; Sylvain, 2002), de la France (Labalette et al., 2010) et du Kenya (Dankit, Wafula, 2002). Une première carte

variétale pour le soja dans la zone cotonnière du Cameroun peut être proposée : les variétés à cycle court et à productivité intermédiaire SJ 235 et Houla 1 sont conseillées pour la zone cotonnière allant de Maroua à Garoua, caractérisée par une saison pluvieuse courte. Les variétés TGX 1844-18E, TGX 1910-14F, TGX 1448-2E à cycle long sont adaptées pour les zones cotonnières de Tcholiré à Touboro.

**Tableau 4.** Le rendement en grain par variété, tous sites confondus pour la campagne 2008.

Variété	RDT (kg/ha)
TGX 1910-14F	2 552 a
TGX 1448-2E	2 532 ab
TGX 1844-18E	2 520 ab
ESA	2 463 ab
SJ 235	2 451 ab
Houla 1	2 386 abc
TGX 849 29-4D	2 297 abc
TGX 1830-20E	2 296 abc
Houla 2	2 271 bc
TGX 1485-1D	2 179 c
TGX 1740-2F	2 157 c
SJ 320	1 287 d
Docko	1 131 d
CD 98 318	811 e

Dans une même colonne, les données portant des lettres différentes sont significativement différentes à  $P = 0,05$ .

### 3.2. Capacité de nodulation

Le tableau 5 présente les résultats par site et par variété du nombre moyen de nodosités par plante des variétés retenues pour diffusion à partir des tests variétaux comparant les rendements grain à l'hectare et les cycles de culture. Une variété brésilienne la CD 98318 a été ajoutée au dispositif.

**Tableau 5.** Nombre moyen de nodosités par plant et par variété sur trois sites.

Variété	Kodek		Sanguéré		Touboro	
	1 <sup>ère</sup> date	2 <sup>ème</sup> date	1 <sup>ère</sup> date	2 <sup>ème</sup> date	1 <sup>ère</sup> date	2 <sup>ème</sup> date
CD 98 318	12	15	16	22	11	12
Houla 1	20	25	49	55	28	26
SJ 235	21	35	48	53	45	56
TGX 1844-18E	32	43	47	46	44	58
TGX 1910-14F	25	31	61	69	52	104
TGX 1448-2E	25	43	43	49	17	19

Selon la littérature (Larcher, 1979), les normes d'une bonne nodulation pour le soja sont de l'ordre de 30 à 50 nodosités par plante, on note la présence de nodosités sur toutes les variétés et en nombre suffisant pour induire une fixation d'azote satisfaisante. La variété brésilienne CD 98 semble cependant être en retrait par rapport aux autres variétés, avec une nodulation toujours inférieure à 20 nodosités par plante. Cela se confirme effectivement sur le terrain où l'on constate un palissement quasi permanent du feuillage. Les variétés les plus nodulées sont : TGX 1910-14F qui compte plus de 100 nodosités au 60<sup>e</sup> jour de son cycle ; c'est



aussi le matériel végétal le plus verdoyant; TGX 18E, SJ235, TGX 2E et Houla 1 présentent une nodulation de situation intermédiaire. Cette différence de capacité à former des nodules entre variétés a été observée par plusieurs auteurs. Beuerlein (1997), en plus du comptage des nodosités, note que les nodosités ayant une coloration interne rouge vif ont une activité fixatrice maximum d'azote. Pulver et al. (1985), Mpeperekki et al. (2000) et Gwata et al. (2004) relèvent qu'il existe des variétés dites à haute promiscuité qui ont la capacité de s'associer à certains rhizobiums indigènes du sol comme ceux nodulant le niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Pour ces auteurs, les variétés sans promiscuité ou spécifiques forment des nodules efficaces avec des espèces spécifiques de rhizobiums, comme *Bradyrhizobium japonicum*.

### 3.3. Déhiscence des gousses

Le tableau 6 présente les pourcentages moyens des gousses éclatées 2,5 mois après la date théorique de récolte pour chaque variété et sur deux sites expérimentaux.

Ce tableau montre qu'il existe une grande différence de comportement entre variétés et une faible différence entre site. La famille des TGX est la moins déhiscence avec moins de 20% de déhiscence. Parmi elles, la variété TGX 1910-14F présente moins de 10% de déhiscence (8,2%). Les variétés Houla 1 et SJ 235 se caractérisent avec des déhiscences de l'ordre de 60%. Pour ces deux variétés, la dynamique de déhiscence durant les semaines après la date théorique de récolte montre que les premiers signes de déhiscences sont constatés une quinzaine de jours après récolte. Pour la variété brésilienne CD 983585, pratiquement toutes les gousses éclatent après les deux mois de dépassement de la date de récolte. Il est à noter que la date théorique est définie en tenant compte seulement du cycle de culture des variétés. Cependant, la date optimale de récolte devrait tenir compte du taux d'humidité des graines qui doit se situer entre 14 et 16% (Roux, 2013).

**Tableau 6.** Pourcentage des gousses éclatées par variété et par site expérimental.

Variété	Sanguéré	Kodek
CD 98318	95,1	93,1
Houla 1	58,9	57,7
SJ 235	71,0	51,6
TGX 1448-2E	19,8	12,0
TGX 1844-18E	7,9	15,7
TGX 1910-14F	6,0	8,2

### 3.4. Fertilisation du soja

#### 3.4.1. Comparaison de deux formulations d'engrais en PK

La figure 2 présente les résultats de la comparaison de deux formulation d'engrais en P et K : la formule de couverture totale des besoins pour une production supérieure à 2 tonnes (-20-60), et la demi-dose de cette formulation (-10-30), en appliquant une dose unique de 20 N/ha d'azote starter.

Il ressort de cette figure 2 que quel que soit le site, l'effet du niveau de fertilisation est élevé. La différence est statistiquement significative ( $P=0,05$ ), aussi bien entre les doses 0 et 60 unités fertilisantes, qu'entre les doses 60 et 100 unités fertilisantes. La comparaison du niveau de production des deux sites est également significative. Ces résultats sont conformes à ceux de Lof et al. (1990) qui précisent de façon générale que le potassium et le phosphore accroissent fortement le rendement du soja. À l'opposé, les résultats observés par Tremblay (1998), semblent affirmer que la fertilisation minérale phosphatée et potassique n'ont aucun effet significatif sur le rendement en soja, et ce sur tous les types de sol à l'étude (pauvre, moyen et riche).

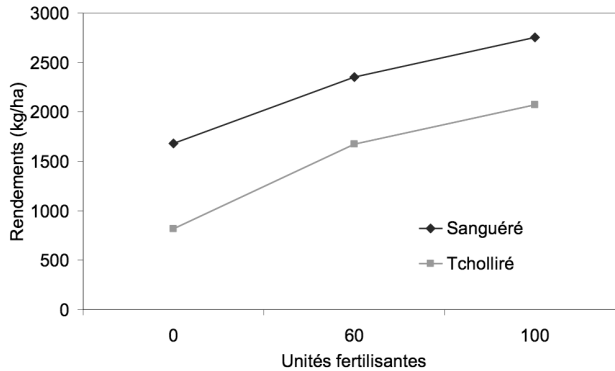


Figure 2. Réponse du soja à deux formulations d'engrais NPK (20-20-60 et 20-10-30).

### 3.4.2. L'effet de l'azote starter sur le rendement du soja

Bien que le soja soit une plante fixatrice d'azote, il a été démontré que cette activité ne commence véritablement qu'avec la mise en place des nodules, aux environs du 30<sup>e</sup> jour après semis. La question est de savoir s'il est nécessaire de prévoir un apport d'azote starter pour couvrir la période entre le semis et le démarrage de la fixation symbiotique d'azote.

Quel que soit le site, on ne note pas de différence significative ( $P=0,05$ ) entre les rendements des parcelles ayant reçu de l'azote starter et celles n'en n'ayant pas reçu (Figure 3).

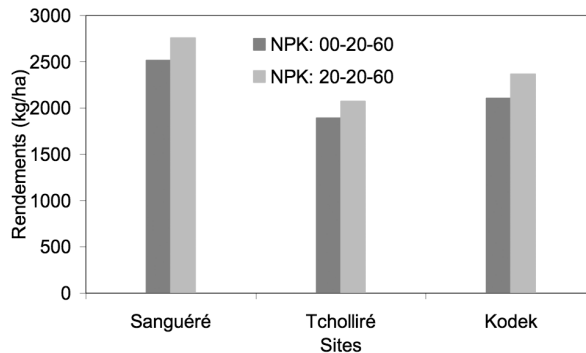


Figure 3. Effet de l'azote starter sur le rendement (kg/ha) du soja sur trois sites.

Cependant, les parcelles ayant reçu l'azote starter présentent systématiquement un gain arithmétique de rendement de l'ordre de 9 à 11 % de plus-value. Ces résultats sont conformes à ceux de Wortmann et al. (2012), qui mentionnent que l'augmentation de rendement due à l'application de l'azote (27 N et 54 N), au stade de végétation R3, est négligeable.

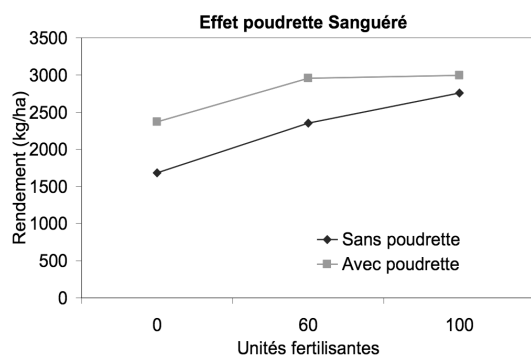
### 3.4.3. Effet de la poudre de parc à bétail ajoutée au fertilisant minéral sur le rendement du soja

Les figures 4 et 5 présentent les résultats de l'effet sur le rendement du soja, de la poudre de parc à bétail ajoutée à la fertilisation minérale.

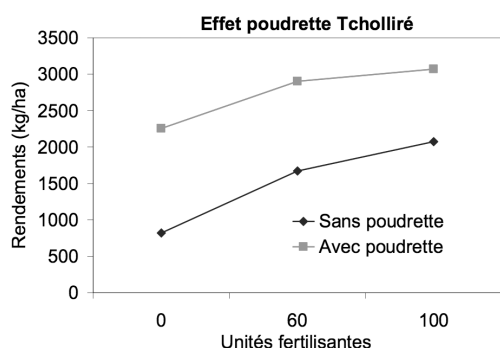
Les résultats sur les deux sites montrent que l'effet de la poudre de parc à bétail est plus accentué à Tcholliré qu'à Sanguéré. Ceci confirme que le sol de l'antenne l'IRAD de Tcholliré sur lequel les essais ont été placés est pauvre. Un apport en matière organique augmente de manière très significative le rendement en absence d'engrais ou avec la demi-dose d'engrais.

Cependant, quel que soit le site, on remarque que l'effet de la poudrette du parc à bétail sur le rendement diminue avec l'augmentation de la fertilisation minérale.

D'autre part, la comparaison des rendements obtenus sur les parcelles ayant reçu la fertilisation minérale et la fumure organique (20-20-60 + 5 t/ha de fumier) et celles ayant reçu la demi dose en P et K ajouté de la fumure organique (20-10-30 + 5 t/ha de fumier) montre qu'il n'y a pas de différence significative. Dans des conditions de disponibilité en matière organique, il est donc économiquement rentable d'utiliser la demi-dose de fumure minérale en cas d'apport de poudrette organique.



**Figure 4.** Effet de la poudre de parc à bétail ajoutée au fertilisant minéral sur le rendement du soja, site de Sanguéré.



**Figure 5.** Effet de la poudre de parc à bétail ajoutée au fertilisant minéral sur le rendement du soja, site de Tcholliré.

## 4. Conclusion

Dans le cadre de la diversification des cultures en zone cotonnière au Cameroun, les résultats de recherche sur la faisabilité de la culture du soja ont permis de cerner quelques aspects de l'itinéraire technique de cette culture. Les essais de criblage variétal nous ont permis de proposer une première carte variétale pour le soja dans la zone cotonnière du Cameroun : les variétés à cycle court et à productivité intermédiaire SJ 235 et Houla 1 sont conseillées pour la zone cotonnière allant de Maroua à Garoua, caractérisée par une saison pluvieuse courte. Les variétés TGX 1844-18E, TGX 1910-14F, TGX 1448-2E à cycle long sont adaptées pour les zones cotonnières de Tcholliré à Touboro. Les prélèvements des plantes réalisés en cours de cycle ont montré que dans l'ensemble, ces variétés nodulent bien. On obtient des nodulations largement supérieures à la norme basse de 30 nodosités/plante. Par ailleurs le test de la déhiscence des gousses montre que les variétés TGX sont non déhiscents. Houla 1 et SJ 235 doivent être récoltées dans les deux semaines après la date théorique de récolte. Les essais

de fertilisation ont montré qu'en sol relativement fertile, les rendements augmentent de façon significative jusqu'à 100 unités fertilisantes/ha (20-20-60). Mais sur sol à fertilité médiocre, la dose de 60 unités fertilisantes (20-10-30) marque un optimal, et l'apport complémentaire d'engrais n'est pas rentabilisé. L'apport de 5 tonnes de poudrette de fumier permet de réduire de moitié l'apport minéral. Cependant, afin d'optimiser la production, des essais d'inoculation des variétés proposées à la vulgarisation sont à envisager.

## Bibliographie

- Aubert C., Dabat M.H., Li X., 2001. L'économie du soja en Chine : les défis liés à la libéralisation. *OCL. Oléagineux Corps Gras Lipides*, **8**(3), 216-222.
- Badiane O., Ghura D., Goreux M.L., Masson P.R., 2002. *Évolution des filières cotonnières en Afrique de l'ouest et du centre*. Banque mondiale et Fond Monétaire International, Washington DC., 24 p.
- Beuerlein J., 1997. *Soybean Inoculation and Nitrogen Nutrition*. Agronomic Crops Team On-Farm Research Projects. Special Circular, 160-98, 2 p.
- CETIOM, 2008. *Le soja : de la plante à ses utilisations*. PROLEA, Paris, 6 p.
- Dankit N., Wafula W., 2002. Stability assessment of soybean varieties in Kenya. *African Crop Science Journal*, **10**(2), 139-144.
- FAOSTAT, 2009. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
- Ferguson B.J., Indrasumunar A., Hahashi S., 2010. Genetic analysis of legume nodule development and autoregulation. *Journal of Integrated Plant Biology*, **52**, 61-76.
- Fok A.C.M., 2008. Politique cotonnière au Sud du Sahara : une question fondamentale d'arrangements institutionnels adaptés aux contraintes des paysans. In : *Conférence internationale sur le coton «Justifications et évolutions des politiques cotonnières»*. Cirad, Montpellier, France, 13-17/05/2008, 15 p.
- Gafsi M., Mbetid-Bessane E., 2003. Stratégies des exploitations cotonnières et libéralisation de la filière. *Cahiers Agricultures*, **12**(4), 253-260.
- Gwata E.T., Wofford D.S., Pfahler P.L., Boote K.J., 2004. Genetics of promiscuous nodulation in soybean: Nodule dry weight and leaf color score. *Journal of Heredity*, **55**, 154-157.
- Javaheri F., Baudouin J.P., 2001. Soja (*Glycine max* (L.) Merrill.). *Agriculture en Afrique Tropicale*, **1634**, 660-883.
- Javaheri F., Baudouin J.P., 2001. Oil crops : Soya bean. In : Raemaeker R. (ed.). *Crop production in Tropical Africa*. DGCI, Bruxelles, p. 809-828.
- Kiers E., Rousseau R.A., West S.A., Denison R.F., 2003. Host sanctions and the legume rhizobium mutualism. *Nature*, **425**, 78-81.
- Kossoumna Liba'a N., Havard M., 2006. Mutations de la filière cotonnière dans les provinces septentrionales du Cameroun. Perception et stratégies paysannes. *Cahiers de Géographie du Québec*, **50**(139), 65-82.
- Labalette F. et al., 2010. Panorama et futur de la filière du soja français. *Économie-Développement*, **17**(6), 345-355.
- Larcher J., 1979. *L'amélioration variétale du soja au Sénégal*. Rapport d'activité CNRA de Bambey, ISRA, 11 p.
- Lof G., Tops A., Netjes J., 1990. *Le soja*. Agrodok-series N° 10, p. 1-7.
- Mbetid-Bessane E., 2002. *Gestion des EA dans le processus de libéralisation de la filière cotonnière en Centrafrique*. Thèse de Doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse, France.
- Meynard J.M. et al., 2013. *Freins et leviers à la diversification des cultures. Étude au niveau des exploitations agricoles et des filières*. Synthèse du rapport d'étude. INRA, Grignon, France, 52 p.
- Mpeperek S., Javaheri F., Davis P., Giller K.E., 2000. Soyabeans and sustainable agriculture. "Promiscuous" soyabeans in southern Africa. *Field Crops Research*, **65**, 137-149.

- Ndame J.P., Briltey B., 2004. Croissance urbaine, mutations agricoles et dépendance alimentaire dans le Nord Cameroun. *Recherches Africaines*, **03**. <http://www.recherches-africaines.net/document.php?id=218>.
- Praquin J.Y., Richard J.F., Delassus M., 1979. Bilan des recherches menées sur le soja dans la zone d'altitude de l'ouest Cameroun. *Agronomie Tropicale*, **34**(2), 111-121.
- Pulver E.L., Kueneman E.A., Ranga-Rao V., 1985. Identification of promiscuous nodulating soyabean efficient in nitrogen fixation. *Crop Science*, **25**, 660-663.
- Roux B., 2013. *Les points-clés de la conduite du soja*. CETIOM, Paris, 6 p.
- Sylvain S., 2002. Migrations et mutations des systèmes agraires : la culture brésilienne du soja au Paraguay. *Revue Européenne des Migrations Internationales*, **18**(2), 105-137.
- Théry H., 2004. La vague déferlante du soja brésilien. *Mappemonde*, **74**(2), 1-7.
- Tremblay G., 1998. *Le soja peut-il se passer d'engrais chimique ?* Bulletin technique, régie des cultures. N° 3.03. CEROM, Saint-Bruno-de-Montarville, Canada, 4 p.
- Tremblay G., 2003. *Effet de la date de semis du soja sur des sols des Basses Terres de la Plaine du Saint-Laurent*, Bulletin technique, régie des cultures. N° 3.06. CEROM, Saint-Bruno-de-Montarville, Canada, 10 p.
- Wortmann C.S., Shapiro C.A., Ferguson R., Mainz M., 2012. Irrigated soybean can have a small response to nitrogen applied during early reproductive growth. *Crop Management*, **11**, p. 1. doi:10.1094/CM-2012-0126-01-RS.

## Quelles contributions des légumes feuilles traditionnels à la sécurité alimentaire et à l'allègement de la pauvreté des populations urbaines en Côte d'Ivoire ?

Fondio Lassina, CNRA, E-mail : Ifondio@yahoo.fr

Nzi Jean-Claude, Université Félix Houphouët-Boigny, Cocody, E-mail : jcnzi2@yahoo.fr

Agbo Édith, Université Nangui Abrogoua, E-mail : ceapadouko@yahoo.fr

Mahayo Adolphe, CNRA, E-mail : mahyaoadolphe@yahoo.fr

Djidji André Hortense, CNRA, E-mail : djidjihortense@yahoo.fr

N'Gbesso Mako FDP, CNRA, E-mail : ngbesso2mako@yahoo.fr

Kouame Christophe, ICRAF, E-mail : C.Kouame@cgiar.org

### Résumé

Une étude a été conduite en Côte d'Ivoire en vue de déterminer le rôle que peuvent jouer les légumes feuilles traditionnels dans l'alimentation et la génération de revenus des populations urbaines en forte croissance en Afrique. Ainsi, une enquête auprès de 68 producteurs de légumes de Yamoussoukro et 98 d'Abidjan, répartis sur les 4 principaux sites maraîchers des villes concernées, a été réalisée pour inventorier les légumes feuilles cultivés et caractériser les systèmes de culture. Des analyses ont été effectuées pour déterminer les valeurs nutritionnelles des principales espèces de légumes feuilles cultivées. Pour déterminer la valeur socio-économique des légumes feuilles traditionnels, 160 commerçants d'Abidjan (sur 407 dénombrés) et 45 de Yamoussoukro (sur 61 recensés) ont été enquêtés. Les résultats de l'étude ont montré qu'un total de 26 espèces réparties en 15 familles botaniques, 19 appellations locales et 20 noms communs sont cultivées comme légumes feuilles. Ces plantes sont très riches en vitamines et en sels minéraux. L'amarante est l'espèce qui renferme les teneurs les plus élevées en vitamine C (95,56 mg/100 g MF), magnésium (1,87 g/100 g MS), fer (94,9 mg/100 g MS), calcium (6,96 g/100 g MS), potassium (8,53 g/100 g MS) et en phosphore (33,53 mg/100 g MS). La célosie et la corète potagère sont les plus riches en fibres solubles avec respectivement 40,67% et 28,07% contre 1,33% et 3% pour la baselle et l'oseille de Guinée qui en possèdent les teneurs les plus faibles. La commercialisation de ces légumes génère des revenus variant selon les villes et l'espèce de légume feuille pouvant atteindre 1 735 FCFA soit 3,47 \$US avec la corète potagère à Abidjan et 855 FCFA soit 1,71 \$US avec la vente de la patate douce par jour et par détaillante. La valorisation de ces légumes traditionnels peut donc contribuer à l'amélioration de la sécurité nutritionnelle et du niveau de vie des populations urbaines.

### What contributions of traditional leafy vegetables to food security and poverty alleviation of urban populations in Côte d'Ivoire?

A study was conducted in Côte d'Ivoire to determine the role of the traditional leafy vegetables in food security and generation income for the urban populations increasing in Africa. Thus a diagnostic survey was carried out nearby 68 vegetables producers of Yamoussoukro and 98 of Abidjan, selected from 4 production sites of these cities, to inventariate leafy vegetables species and to characterize the production systems. To assess the socio-economic value of these traditional leafy vegetables, 160 retailers from Abidjan (on a total of 407 inventoriated) and 45 from Yamoussoukro (on 61 inventoriated) were surveyed. As results, a total of 26 species grouped into 15 botanic families, 19 local names and 20 commun designations was grown as leafy vegetables. These plants are rich in vitamins and mineral elements. Amaranth is the the species with the highest contain in vitamin C (95.56 mg/100 g dry matter), magnesium (1.87 g/100 g DM), iron (94.9 mg/100 g DM), calcium (6.96 g/100 g DM), potassium (8.53 g/100 g DM) and phosphorus (33.53 mg/100 g DM). Lagos spinach and jute mallow are the most rich in soluble fiber with 40.67% and 28.07% respectively against 1.33% and 3% for Malabar spinach and

roselle which contain the lowest levels. Leafy vegetables marketing provided income varying according to cities and vegetable species, and could reach up FCFA 1 735 or \$US 3.47 with jute mallow at Abidjan and FCFA 855 or \$US 1.71 per day and per retailer with sweet potato at Yamoussoukro. Adding value to these traditional leafy vegetables could contribute to enhance nutritional and food security and the livelihood of the urban populations in the country.

## 1. Introduction

Les villes africaines connaissent une forte croissance démographique qui devrait s'accélérer au cours des prochaines décennies. De 373 millions d'habitants en 2007, la population urbaine en Afrique devrait atteindre 658 millions en 2025 et 1,23 milliards (soit 62 %) à l'horizon 2050. Selon UN-Habitat (2008), Kinshasa et Lagos, deux grandes métropoles africaines se classeront onzième et douzième villes les plus peuplées du monde avec plus de 16,7 et 15,7 millions d'habitants chacune à l'horizon 2025. La Côte d'Ivoire n'est pas à l'abri de ce phénomène. En effet, en 2003, selon le Ministère du Plan et du Développement, les huit plus grandes villes abritaient plus de 27 % de la population, dont 20 % pour la seule ville d'Abidjan. En outre, selon le Ministère de l'Agriculture, alors qu'on dénombrait en 1995, deux ruraux pour un urbain, en 2005, ce ratio n'était plus que d'un rural pour un urbain en Côte d'Ivoire (Minagri, 2006). En 2025, près de 60 % des populations ivoiriennes devraient vivre en villes.

Face à cette démographie galopante, le pays doit relever les grands défis suivants : sécurité alimentaire et nutritionnelle, lutte contre la pauvreté des populations urbaines, emplois, etc. S'agissant de la sécurité alimentaire, en général, les politiques agricoles n'ont jusque-là mis l'accent que sur le développement des cultures vivrières comme le riz avec des résultats peu satisfaisants comme en témoigne la survenue de la crise alimentaire de 2008. Par contre, les plantes légumières comme la tomate, le gombo, le piment, l'aubergine, les légumes feuilles, etc. ont été rarement prises en compte par ces politiques malgré leur rôle dans la sécurité nutritionnelle et de pourvoyeur de revenus pour les populations urbaines vulnérables (Fondio et al., 2007 ; Mahyao et al., 2009 ; Agbo et al., 2009).

C'est dans ce contexte que le CNRA a conduit entre 2006 et 2009, un projet de recherche qui avait pour objectif général de contribuer à l'augmentation de la productivité des légumes feuilles traditionnels par la mise à la disposition des producteurs de technologies améliorées. Spécifiquement, il s'agissait d'inventorier les principales espèces de légumes feuilles cultivées, de caractériser les systèmes de culture, de déterminer les valeurs nutritionnelles et l'importance socio-économique de la commercialisation des légumes feuilles, d'une part et d'autre part, de proposer des solutions aux problèmes identifiés.

Cet article a pour objectif de démontrer, à partir de cette étude, le rôle que pourraient jouer les légumes feuilles traditionnels dans la lutte pour la sécurité alimentaire et l'allègement de la pauvreté des populations urbaines en Côte d'Ivoire. Ainsi, il s'agira de faire ressortir la diversité des légumes feuilles, leur richesse en éléments nutritifs et leur importance socio-économique pour les populations.

## 2. Méthode d'étude

Une enquête a été menée sur les exploitations de 68 producteurs de légumes de Yamoussoukro et 98 d'Abidjan répartis sur les quatre principaux sites maraîchers des villes concernées en vue d'inventorier les légumes feuilles cultivés et caractériser les systèmes de culture. L'enquête consistait à identifier, dans les parcelles, toutes les espèces de plantes cultivées pour leurs feuilles et les techniques culturales pratiquées (fertilisation, associations des cultures, rotations culturales, méthodes de protection des cultures, etc.).



Pour déterminer la teneur en éléments nutritifs des légumes feuilles, les analyses ont été effectuées pour déterminer l'effet de la saison de culture, du stade de développement des plantes, du mode et de la durée de la cuisson sur la teneur des feuilles en éléments nutritifs. Pour déterminer l'effet des saisons sur la teneur des feuilles en éléments nutritifs, des échantillons de sept légumes feuilles les plus cultivés et consommés (amarante, célosie, corète potagère, morelle noire, caya blanc, oseille de Guinée et baselle) ont été prélevés auprès des producteurs d'Abidjan, de Bingerville et de Yamoussoukro en saison sèche (novembre 2008 à mars 2009) et saison pluvieuse (mai à octobre 2009) pour les analyses au laboratoire. Pour déterminer l'évolution de la teneur des feuilles en éléments nutritifs au cours de la croissance des plantes, six de ces légumes (amarante, oseille de Guinée, baselle, morelle noire, corète potagère et célosie) ont été cultivés à la Station de recherche d'Anguédédou (près d'Abidjan) sur des superficies de 20 m<sup>2</sup> par espèce en vue de procéder à des récoltes hebdomadaires des feuilles pour les analyses. L'effet de la cuisson sur les pertes des nutriments a été déterminé par prélèvement, toutes les 15 minutes pendant une heure, d'échantillons des feuilles en cours de cuisson.

Les éléments nutritifs recherchés ont été : la vitamine C, la bêta-carotène, les protéines, le phosphore, le magnésium, le calcium, le potassium, les fibres solubles et l'acide oxalique (qui peut être à l'origine des problèmes de santé chez l'homme).

Pour déterminer l'importance socio-économique des légumes feuilles traditionnels dans les districts d'Abidjan et de Yamoussoukro, une enquête a été menée auprès de 160 commerçants d'Abidjan (sur 407 dénombrés) de 45 de Yamoussoukro (sur 61 recensés). Les données collectées ont porté sur les variables socio-démographiques (sexe, âge, niveau d'instruction, nationalité, situation matrimoniale et nombre d'enfants) des commerçants et les caractéristiques de mise en marché (source, fréquence d'approvisionnement et revenu journalier de commercialisation) de neuf principaux légumes feuilles les plus commercialisés (corète potagère, baselle, amarante, feuilles de patate, celosie, morelle noire, oseille de Guinée, talinum et le caya blanc). À partir de ces données, les statistiques descriptives (fréquences, moyennes et écarts-types) des variables observées ont été présentées afin d'établir la typologie des acteurs et de caractériser la mise en marché. La méthode d'analyse de variance (ANOVA) a été utilisée pour tester la significativité des différences observées entre les prix, quantités et revenus générés par la commercialisation des légumes feuilles traditionnels.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Inventaire des espèces cultivées comme légumes feuilles traditionnels

Un total de 26 espèces de plantes a été inventorié comme légumes traditionnels cultivés pour leurs feuilles. Ces espèces se répartissent en 15 familles botaniques, 19 appellations locales et 20 noms communs. Mais, l'importance de la culture des espèces varie selon les localités. En se basant sur le pourcentage de personnes produisant les différentes espèces, il y a seulement six espèces qui sont les plus cultivées par la majorité des paysans (Tableau 1). Pour Abidjan, il s'agit de : amarante (65 % des producteurs enquêtés), corète potagère (57 %), oseille de Guinée (44 %), célosie (44 %), baselle (32 %) et du caya blanc (19 %). À Yamoussoukro, les espèces les plus cultivées sont : amarante (55 % des producteurs enquêtés), oseille de Guinée (34 %), morelle noire (31 %), baselle (26 %), caya blanc (25 %) et corète potagère (12 %). Il apparaît dans ce classement que l'amarante est l'espèce la plus cultivée dans les deux localités. Concernant les autres espèces, on peut noter que la morelle noire classée en troisième position à Yamoussoukro avec 31 % des producteurs, n'apparaît qu'au sixième rang à Abidjan avec 7 %. Cette régionalisation des espèces serait liée aux habitudes alimentaires des populations locales. Pour ces espèces, il n'existe aucune variété sélectionnée. Celles qui sont cultivées sont des cultivars locaux.

**Tableau 1.** Pourcentage de paysans cultivant les types de légume feuille dans les zones d'Abidjan et de Yamoussoukro.

Type de légume feuille	Pourcentage de paysans produisant le type de légume feuille à Abidjan (%)	Pourcentage de paysans produisant le type de légume feuille à Yamoussoukro (%)
Amarante (Brom-brou)	65	55
Corète potagère (Kplala)	57	12
Oseille de Guinée (Dâh)	44	34
Célosie (Sôko)	44	2
Baselle (Épinard)	32	26
Caya blanc (Winwin)	19	25
Aubergine africaine	13	0
Morelle noire (Fouet-brou)	7	31
Épinard africain (Anango-brou)	4	0
Patate douce (Wosso-brou)	3	4
Vernonia	1	0
Feuilles de niébé	1	2
Feuilles de baobab	0	1

Le choix de 6 espèces sur 26 par la majorité des producteurs peut s'expliquer par le fait que ces producteurs ne travaillent que pour répondre à la demande du marché et des consommateurs. Les espèces les moins demandées ne sont pas cultivées, elles restent seulement entretenues par quelques producteurs. À long terme, il est à craindre que la faible culture des autres espèces peu demandées n'entraîne leur disparition provoquant ainsi une perte de ressources génétiques. En vue de préserver ces ressources pour les générations futures, il paraît indiqué de constituer dès à présent une collection des ressources génétiques des légumes feuilles traditionnels de Côte d'Ivoire. Le manque de variétés sélectionnées confirme la faible importance accordée à ces légumes traditionnels par les décideurs politiques et les institutions de recherche en Afrique (Chweya, 1992).

### 3.2. Système de culture des légumes feuilles

L'enquête a révélé que les légumes feuilles sont cultivés toute l'année en zones urbaines et uniquement en saison des pluies dans les sites périurbains d'Abidjan et de Yamoussoukro. En général, les producteurs ne cultivent pas uniquement les légumes feuilles. Ils sont produits aussi bien en association culturale qu'en culture pure. La corète potagère et l'oseille de Guinée sont généralement produites en culture pure. Par contre, l'amarante, le caya blanc, la morelle noire et la baselle sont couramment associés à la laitue ou à l'oignon feuille. Environ 70 à 73 % des producteurs d'Abidjan et de Yamoussoukro produisent les légume-feuilles en associations culturales avec d'autres légumes. Les cultures principales auxquelles les légumes feuilles sont fréquemment associées sont la tomate, la laitue, l'oignon feuille, le gombo, le chou, etc. Dans ce système, la culture principale est plantée sur la planche et le légume feuille en bordure (Figure 1).

L'analyse de ces pratiques culturales semble confirmer le caractère informel de la culture de ces légumes feuilles qui sont produits majoritairement en association avec des cultures principales. Ce type de pratiques culturales avait été aussi démontré pour la culture du gombo dans le maraîchage de Bouaké (Fondio et al., 2011). La prise en compte de légumes feuilles dans les priorités des politiques de développement favorisera la définition d'itinéraires techniques adaptés à la production de ces légumes traditionnels et à leur rayonnement.



**Figure 1.** Association morelle noire et laitue.

### 3.3. Valeur nutritive de quelques espèces de légumes feuilles

Il est ressorti de l'analyse de la composition en éléments nutritifs des légumes feuilles que l'amarante est l'espèce qui renferme les teneurs les plus élevées en vitamine C (95,56 mg/100 g MF), magnésium (1,87 g/100 g MS), fer (94,9 mg/100 g MS), calcium (6,96 g/100 g MS), potassium (8,53 g/100 g MS) et en phosphore (33,53 mg/100 g MS). La célosie et la corète potagère sont les plus riches en fibres solubles avec respectivement 40,67% et 28,07% contre 1,33% et 3% pour la baselle et l'oseille de Guinée qui en possèdent les teneurs les plus faibles. En général, les légumes feuilles contiennent plus de fibres solubles que de fibres insolubles (Agbo et al., 2009). Si la consommation de ces plantes traditionnelles était promue, elles pourraient constituer une importante source de vitamines et de nutriments pour les populations pauvres.

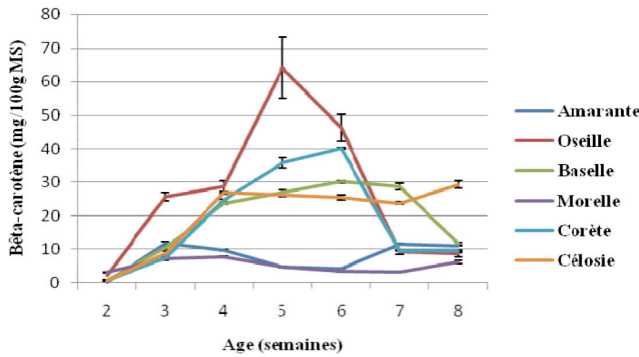
#### 3.3.1. Effet des saisons et du stade de développement sur la teneur des feuilles en éléments nutritifs

Les teneurs des feuilles en éléments nutritifs évoluent selon les saisons et les stades de développement des plantes. Les teneurs en bêta-carotène dans les légumes feuilles sont généralement plus faibles en saison sèche qu'en saison des pluies (Tableau 2). Elles sont optimales pour l'oseille de Guinée à la 5<sup>e</sup> semaine après le semis et la corète potagère à la 6<sup>e</sup> semaine avec respectivement 64,12 mg/100 g MF et 40,09 mg/100 g MF (Figure 2). Dans l'ensemble, les courbes d'évolution de la teneur en protéines des légumes feuilles décroissent au cours de la 2<sup>e</sup> à la 8<sup>e</sup> semaine après le semis (Figure 3). Les teneurs en fer et en calcium de la baselle augmentent respectivement jusqu'à la 5<sup>e</sup> et la 6<sup>e</sup> semaine après le semis avant de diminuer. Ces résultats corroborent ceux de Yarger (2007) qui recommande de récolter les feuilles de la célosie au stade de 5 à 7 semaines après semis pour avoir une valeur nutritionnelle optimale. Les variations des teneurs en éléments nutritifs selon les saisons pourraient s'expliquer par les variations dans les capacités des plantes à synthétiser ces éléments. En saison des pluies, les conditions étant favorables, les plantes synthétisent plus facilement les éléments nutritifs.

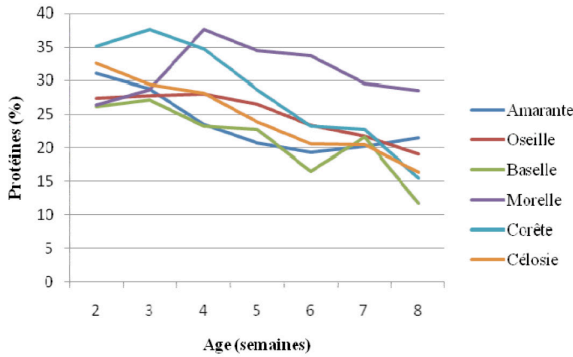
**Tableau 2.** Teneur en bêta-carotène des légumes feuilles collectés sur les sites.

Espèce	Bêta-carotène (mg/100 g MF)					
	Saison sèche			Saison des pluies		
	Yakro*	Abidjan	Bingerville	Yakro	Abidjan	Bingerville
Amarante	0,1 a ± 0,004	4,58 a ± 0,39	7,32a ± 0,09	3,57 a ± 0,19	9,65 a ± 0,14	10,01 a ± 0,23
Oseille	0,74 c ± 0,01	7,73 b ± 0,34	136,14 c ± 1,39	64,52 e ± 2,31	47,92 b ± 1,43	31,28 c ± 0,47
Baselle	0,76 c ± 0,2	22,46 d ± 1,22	85,01 b ± 1,25	21,67 c ± 1,64	9,84 a ± 0,14	25,13 b ± 0,11
Morelle	0,48 b ± 0,01	19,30 c ± 1,39	197,85 d ± 2,13	30,82 d ± 1,27	37,93 b ± 2,36	25,88 b ± 1,2
Corète		4,25 a ± 0,24	81,29 b ± 1,7	24,18 c ± 1,6	70,26 c ± 3,24	59,36 e ± 3,26
Célosie	0,44 b ± 0,02	23,97 d ± 1,53	96,19 c ± 5,61	28,59 d ± 0,28	19,22 a ± 0,43	37,4 d ± 0,42
Caya	1,25 d ± 0,95	17,97 c ± 0,96		6,96 b ± 0,02	100,26 d ± 19,06	8,3 a ± 0,17

Les chiffres en colonnes suivis de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil  $\alpha = 0,05$  (Test de Duncan). \*Yamoussoukro.



**Figure 2.** Évolution de la teneur en bêta-carotène au cours de la croissance.



**Figure 3.** Évolution du taux de protéines au cours de la croissance.

### 3.3.2. Effet du mode et de la durée de cuisson sur les nutriments

Le mode et la durée de la cuisson entraînent les pertes des micronutriments dans les légumes feuilles. Ainsi, la cuisson à l'eau favorise plus de perte en vitamine C que la cuisson à la vapeur sauf pour l'amarante et la célosie où à 15 min. il s'observe respectivement une perte de 25,01 % (cuisson à l'eau) contre 33,33 % (cuisson à la vapeur) et une perte de 10,59 % (cuisson à l'eau) contre 23,53 % avec la cuisson à la vapeur (Tableaux 3 et 4). Quel que soit le mode de cuisson, les pertes augmentent au cours du temps.

**Tableau 3.** Perte en vitamine C au cours de la cuisson à l'eau de l'amarante, l'oseille et la baselle.

Temps de cuisson (min)	Amarante		Oseille		Baselle	
	Vitamine C (mg/100 g MF)	Perte (%)	Vitamine C (mg/100 g MF)	Perte (%)	Vitamine C (mg/100 g MF)	Perte (%)
T0	26,67		37,78		51,11	
T15	20,00	25,01	24,45	35,28	33,78	33,91
T30	17,78	33,33	22,22	41,19	24,45	52,16
T45	15,55	41,69	15,55	58,84	20,00	60,87
T60	13,31	50,09	8,89	76,47	17,78	65,21

**Tableau 4.** Perte en vitamine C au cours de la cuisson à la vapeur de l'amarante, l'oseille et la baselle.

Temps de cuisson (min)	Amarante		Oseille		Baselle	
	Vitamine C (mg/100 g MF)	Perte (%)	Vitamine C (mg/100 g MF)	Perte (%)	Vitamine C (mg/100 g MF)	Perte (%)
T0	26,67		37,78		51,11	
T15	17,78	33,33	33,78	10,59	40,89	20,00
T30	16,11	39,60	24,45	35,28	33,78	33,91
T45	15,55	41,69	15,54	58,87	24,45	52,16
T60	13,33	50,02	13,33	64,72	11,11	78,26

La cuisson à l'eau favorise plus la perte en acide oxalique que la cuisson à la vapeur. Pour la baselle c'est le phénomène inverse avec des pertes allant jusqu'à 65,12 % pour la cuisson à la vapeur au bout d'une heure de cuisson contre 60,08 % pour la cuisson à l'eau (Tableaux 5 et 6). Les temps de cuisson prolongés entraînent des pertes importantes en magnésium, en calcium et en potassium. Yarger (2007) confirme qu'une longue cuisson réduit les teneurs en vitamines.

**Tableau 5.** Perte en acide oxalique au cours de la cuisson à l'eau de l'amarante, l'oseille et la baselle.

Temps de cuisson (min)	Amarante		Oseille		Baselle	
	Acide oxalique (mg/100 g MS)	Perte (%)	Acide oxalique (mg/100 g MS)	Perte (%)	Acide oxalique (mg/100 g MS)	Perte (%)
T0	8,34		22,50		12,90	
T15	5,16	38,13	17,22	23,47	8,04	37,67
T30	4,56	45,32	16,68	25,87	6,90	46,51
T45	4,16	50,12	16,26	27,73	6,36	50,70
T60	3,15	62,23	15,54	30,93	5,15	60,08

**Tableau 6.** Perte en acide oxalique au cours de la cuisson à la vapeur de l'amarante, l'oseille et la baselle.

Temps de cuisson (min)	Amarante		Oseille		Baselle	
	Acide oxalique (mg/100 g MS)	Perte (%)	Acide oxalique (mg/100 g MS)	Perte (%)	Acide oxalique (mg/100 g MS)	Perte (%)
T0	8,34		22,50		12,9	
T15	6,48	22,30	19,37	13,91	6,54	49,30
T30	6,02	27,82	18,54	17,60	6,17	52,17
T45	5,46	34,53	17,87	20,58	5,80	55,04
T60	5,04	39,57	17,46	22,40	4,50	65,12

### 3.4. Importance socio-économique de la commercialisation des légumes feuilles

À Abidjan et Yamoussoukro, l'enquête a montré que la commercialisation des légumes feuilles est dominée par les femmes qui se répartissent en productrices-détaillantes, grossistes-détaillantes et détaillantes. Ces commerçantes sont en majorité jeunes, illettrées et issues de différentes couches sociales. L'implication de différentes couches sociales indique l'importance de ces légumes feuilles pour la vie des populations.

Les revenus générés par ce commerce varient selon les villes et l'espèce de légume feuille. À Abidjan, les plus grands revenus sont générés par la commercialisation de la corète potagère ou *kplala* et des feuilles de patate ou *wosso-brou* où la commerçante peut engranger par jour jusqu'à 3,47 \$US (1 735 FCFA) et 2,99 \$US (1 495 FCFA). À Yamoussoukro, la vente des feuilles de patate procure le gain le plus élevé avec 1,71 \$US (855 FCFA) par jour et par détaillante. Ces gains journaliers sont supérieurs au seuil de la pauvreté qui est de 1 \$US/jour (Tableau 7).

**Tableau 7.** Variations des revenus journaliers de commercialisation des légumes feuilles traditionnels à Abidjan et Yamoussoukro en Côte d'Ivoire.

Légumes feuilles traditionnels	Villes	
	Abidjan	Yamoussoukro
Kplala	3,47 (± 3,43) A*	1,14 (± 0,87) B
Feuilles de patates	2,99 (± 2,18) A	1,71 (± 1,23) B
Épinard	1,71 (± 1,42) A	1,14 (± 0,87) A
Dâh	1,65 (± 1,30) A	1,44 (± 1,04) A
Winwin	1,63 (± 1,36) A	0,90 (± 0,66) A
Fouet	1,31 (± 1,02) A	0,95 (± 0,58) A
Brombrou	1,30 (± 0,78) A	1,09 (± 0,76) A
Sôko	1,13 (± 0,79) A	0,40 (± 0,00) A

\*Les chiffres en colonne affectés de la même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 % (Test de Duncan).

En se basant sur les quantités mises en marché sur l'ensemble des deux localités, les légumes feuilles traditionnels peuvent être classés en trois groupes : «principaux légumes feuilles», «légumes feuilles secondaires» et «légumes feuilles marginaux». Le premier groupe est formé par les feuilles de patate, l'oseille de Guinée, l'amarante, la baselle et la corète potagère qui occupent 81 % du volume des légumes feuilles sur les marchés. Le second groupe appelé «légumes feuilles secondaires» rassemblant la célosie ou sôko, la morelle noire ou fouet-brou et les feuilles de niébé occupe 13 % du volume des légumes feuilles commercialisés. Le dernier groupe qualifié de «légumes feuilles marginaux» ne représentant que 6 % des légumes feuilles commercialisés est constitué par les feuilles d'aubergine, les feuilles de taro, le caya blanc ou *winwin* et l'épinard africain ou *anango-brou* (*Talinum fruticosum*). L'analyse de l'offre et des prix a révélé que les fluctuations de prix des «principaux légumes feuilles» sont moins fortes malgré les quantités importantes mises en marché. Au niveau des «légumes feuilles secondaires», les quantités vendues de fouet sont les plus importantes et les variations de prix des feuilles de niébé plus fortes. Au niveau des «légumes feuilles marginaux», l'offre et les prix varient dans le même sens pour certains légumes et inversement pour d'autres.

### 3.5. Rôle des légumes feuilles dans la sécurité nutritionnelle et l'allègement de la pauvreté

Avec la richesse de ces légumes feuilles en éléments nutritifs, la consommation de ces légumes peut contribuer à améliorer le régime alimentaire des populations. En effet, les différents nutriments peuvent contribuer à combattre les carences en de nombreux éléments. Par exemple, les carences en sels minéraux notamment le calcium, le fer, le magnésium, le

phosphore, etc. peuvent être corrigées par la consommation de ces légumes feuilles notamment l'amarante, la célosie, la corète potagère, etc.

Vu les revenus générés par la commercialisation de ces légumes feuilles en zones urbaines, le développement de ces cultures peut contribuer à alléger la pauvreté des populations vulnérables. En effet, avec la vente de ces produits, la vendeuse peut gagner plus de 1 700 FCFA/jour à Abidjan et plus de 850 FCFA/jour à Yamoussoukro. Ces gains sont nettement supérieurs au 1 \$/jour qui est le seuil de la pauvreté défini par les Nations Unies.

Cependant, pour permettre à ces légumes feuilles de jouer pleinement ces rôles, les actions suivantes doivent être entreprises :

- sélectionner des variétés améliorées des différentes espèces de légumes feuilles ;
- mettre au point des techniques culturales adaptées à ces cultures ;
- promouvoir la consommation de ces légumes feuilles auprès de la population.

## Bibliographie

- Agbo A.E., Kouamé C., Mahyao A., N'zi J.C., Fondio L., 2009. Nutrition importance of Indigenous Leafy Vegetable of Côte d'Ivoire. *Acta Horticulturae*, **806**, 361-366.
- Chweya J., 1992. Potential for agronomic improvement of indigenous plant germplasm in African Agriculture. A case study of indigenous vegetables in Kenya. In: Pütter A. (ed.). *Safeguarding the genetic basis of Africa's traditional crops. Proceedings of a CTA/IPGRI/KARI/UNEP Seminar, Nairobi, Kenya, 5-6 October 1992*. CTA Wageningen, The Netherlands/IPGRI, Rome, p. 105-113.
- Fondio L., Kouamé C., N'zi J.C., Mahyao A., Agbo E., Djidji A.H., 2007. Survey of Indigenous Leafy Vegetable in the Urban and Peri-urban Areas of Côte d'Ivoire. In: Chadha M.L. et al. (eds). *Indigenous Vegetables and Legumes: prospects for fighting poverty, hunger and malnutrition. Acta Horticulturae*, 752, p. 287-289.
- Fondio L., Kouamé C., Djidji A.H., Traoré D., 2011. Caractérisation des systèmes de cultures intégrant le gombo dans le maraîchage urbain et périurbain de Bouaké dans le Centre de la Côte d'Ivoire. *International Journal Biological and Chemical Sciences*, **5**(3), 1178-1189.
- Mahyao A., Kouamé C., Agbo E., N'zi J.C., Fondio L., Van Damme P., 2009. Socio-economic importance of urban market supply chains of indigenous leafy vegetable of Côte d'Ivoire. *Acta Horticulturae*, **806**, 489-496.
- MINAGRI, 2006. *Plan Directeur de l'Horticulture. Ministère de l'Agriculture/Coopération technique belge*. MINAGRI, Cotonou, 115 p.
- UN-Habitat, 2008. *State of the world's cities 2008/2009 harmonious cities*. United Nations Human Settlements Programme, London and Sterling, VA,
- Yarger L., 2007. *Célosie argenteé*. Echo. Note technique. North Fort Myers, FL, USA, 9 p.





## Espèces fruitières sauvages comestibles de Côte d'Ivoire : inventaire, étude et essai de domestication

Djaha Akadié Jean-Baptiste, CNRA, Côte d'Ivoire, E-mail : jbakadie@yahoo.fr  
N'Da Apodo Achille, CNRA, E-mail : achille\_adopo@yahoo.fr  
Kehe Martin, CNRA, E-mail : martin.kehe@cnra.ci

### Résumé

Beaucoup d'espèces fruitières sauvages occupent une place de choix dans l'alimentation des populations ivoiriennes. Malheureusement ces plantes sont en voie de disparition à cause de la déforestation. Il est nécessaire de les sauvegarder. L'inventaire et l'étude de certaines espèces recensées dans des localités des départements d'Agboville, d'Aboisso, d'Abidjan, de Divo et d'Oumé ont été effectués. Au moins 22 espèces ont été inventoriées. Elles appartiennent à 20 genres et 18 familles. Les formes biologiques rencontrées sont les arbres, les arbustes, les lianes et les herbes, avec prédominance des arbres. On les rencontre dans trois types d'habitats : forêt, jachère et plantations. Les fruits, les graines et les feuilles sont consommés. Ces espèces ont une grande valeur nutritionnelle. Une pépinière et une collection ont été créées.

### Wild edible fruit tree species of Côte d'Ivoire: Inventory, study and domestication trial

Many wild fruit species are consumed by the Ivorian population. Those plants disappear because of deforestation. It is necessary to save them. This survey took place in the departments of Agboville, Aboisso, Abidjan, Divo and Oumé; in the South of Côte d'Ivoire, to inventory and study the species met. Twenty-two species belonging to 20 genera and 18 families were inventoried. Trees, little trees, liana and grass were met. The habits were forests, fallows and fields. Fruits, seeds and leaves are eaten. They have a high nutritive level. A nursery and collection were created.

## 1. Introduction

Les plantes ont toujours été utiles à l'homme; il s'en sert pour son alimentation, ses soins, son habitat, etc. (Dupriez, De Leener, 1993). Malheureusement, en quelques siècles, par son action (exploitations agricoles et forestières, urbanisation, etc.), beaucoup d'espèces ont disparu.

En Côte d'Ivoire, la dégradation de la forêt a été excessive. Environ 12 millions d'hectares de forêt ont disparu en moins de 40 ans, à cause de l'exploitation forestière anarchique et de l'agriculture itinérante. Cette situation a entraîné la disparition de beaucoup de plantes alimentaires spontanées autrefois utiles aux populations (Kouamé et al., 2008).

En Côte d'Ivoire, les espèces fruitières sauvages alimentaires, bien connues des populations rurales et qui sont en voie de disparition, à cause des activités humaines, méritent une attention particulière. L'inventaire, l'étude, la domestication et la valorisation de ces espèces végétales pourraient contribuer à la sécurité alimentaire.

Dans le monde, des chercheurs se sont intéressés aux espèces fruitières sauvages comestibles à travers des études ethnobotaniques, écologiques (Malaisse, 1997), leur histoire, leur culture et l'utilisation de leurs fruits (Bois, 1920). En Côte d'Ivoire, des études de base ont été conduites en botanique (Aubreville, 1950), ethnobotanique (Tehe, 1980; Tehe, 1986; N'dri, 1986; Gauthier-Béguin, 1992; Ambé, 2001; Kouamé, 2008) et biochimie.

De toutes les études conduites sur les espèces fruitières sauvages comestibles de Côte d'Ivoire, il n'y en a pas eu en agronomie, surtout pour celles qui sont prisées par les populations parce qu'entrant dans la confection des repas. En effet, ces études auraient permis de connaître leur mode de reproduction, leur comportement lorsqu'elles ne vivent plus individuellement, mais en association (culture pure ou associées à d'autres espèces). La conséquence est qu'aucun itinéraire technique n'a été mis au point pour créer des plantations de ces espèces, et en faire des vergers économiquement rentables et éviter ainsi leur disparition. Nos travaux ont été conduits en trois étapes : prospections, enquêtes ethnobotaniques, description des espèces et collecte de matériel végétal pour herbiers (feuilles, fleurs, écorce, etc.) et pépinière (fruits et boutures). Ensuite, le matériel végétal a été semé en pépinière où des données ont été collectées (dates de semis, de germination, de levée, évaluation de la sensibilité des jeunes plants aux maladies et aux ravageurs). Enfin, transplantation des plants en collection où les données suivantes (dates de plantation, de floraison et de production), prises annuellement, devraient aider à connaître la phénologie de chaque espèce. Ce travail vise à faire connaître les résultats des travaux entrepris sur la question dans la période de 1994 à 1997.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Site d'étude

Les prospections et les enquêtes ont été conduites en zone forestière, du Sud-Est au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. Les localités visitées appartiennent aux chefs-lieux des départements suivants : Aboisso, Agboville, Abidjan, Divo et Oumé.

Les études relatives à la domestication, notamment les essais de germination et de culture en pépinière de quelques espèces très appréciées par les populations ont été menées à la Station IDEFOR/DFA d'Azaguié (actuel site d'expérimentation et de production d'Anguedédu/Azaguié du CNRA). Cette station, localisée à environ 50 km d'Abidjan est à 5°63' de latitude Nord. Le climat, de type Attiéen est caractérisé par deux saisons des pluies, une grande (mars à juin), une petite (octobre à novembre) et deux saisons sèches, une grande (décembre à février) et une petite (août à septembre). Les données climatiques enregistrées pendant la période de l'essai sont consignées dans le tableau 1.

**Tableau 1.** Données pluviométriques mensuelles à la station d'Azaguié en 1994 et 1997.

Année	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total annuel
1994	35,1	47,2	112,8	296,1	135,1	277,1	34,9	12,5	68,7	179,7	92,1	1,5	1 292
1997	50,2	12,1	110,5	118,8	185,6	333,3	64,9	14,2	42,8	163,8	125,8	41,2	1 263,2

### 2.2. Matériel végétal

Le matériel végétal est constitué d'espèces fruitières sauvages comestibles (arbre, arbuste, liane et herbe) dont les organes sont consommés (feuilles, bourgeons, fruits, graines ou amandes, etc.).

### 2.3. Prospection, enquête et collecte de matériel végétal

Les prospections ont été effectuées en zone forestière, du Sud-Est au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. Les choix des sites de prospection et d'enquête ont été guidés par la présence de forêt.

De façon générale, avant les enquêtes ethnobotaniques, des visites de prise de contact ont été effectuées auprès des paysans.

Dans le département d'Aboisso, huit localités ont été visitées : Adiaké, Aboisso, Krinjabo, Maféré, Ayamé, Saykro, Mohoua et M'braty.

Dans le département d'Agboville, plus précisément dans la sous-préfecture d'Azaguié, quatre sites ont été prospectés : Elévi, Kassiguié, Alahin et Odoguié.

À Abidjan, quatre marchés ont été prospectés : Adjamé, Treichville, Abobo et Koumassi.

Dans le département de Divo, quatre localités ont été visitées : Divo-ville, Braboré, Datta et Tabléguikou.

Dans toutes les localités, les enquêtes ethnobotaniques, réalisées au moyen d'une fiche d'enquête, et la collecte de matériel végétal, ont été réalisées prioritairement dans le milieu naturel et secondairement dans les marchés. Exceptionnellement, des enquêtes ont été conduites dans un établissement scolaire primaire dans le département d'Aboisso.

Le questionnaire a porté sur le nom local, la période et le mode de consommation ou d'utilisation, l'abondance ou la rareté de l'espèce. L'enquête a été menée avec un interprète.

En dehors du cas de l'établissement scolaire où des enfants ont été interrogés, la majeure partie des enquêtés était constituée de personnes âgées d'au moins 40 ans supposées en savoir davantage sur les espèces fruitières sauvages.

Au total une soixantaine de personnes âgées d'au moins 40 ans ont été interrogées.

Le matériel végétal collecté, composé de fruits, de graines, de sauvageons et de boutures a été obtenu de trois manières :

- achat de fruits au marché ;
- prélèvement du matériel végétal dans la forêt par les paysans et mise à la disposition des chercheurs ;
- participation des chercheurs à la prospection et à la récolte du matériel végétal dans le milieu naturel.

La récolte du matériel végétal a consisté au ramassage des fruits tombés, à l'extirpation du sol des sauvageons et au prélèvement des boutures et des feuilles (quand les plantes sont de petite taille).

Les outils utilisés à ce propos ont été des machettes, des couteaux, des sécateurs, etc.

Les échantillons une fois prélevés ont été mis dans de grands sachets plastiques que l'on a étiquetés. Sur les étiquettes sont portés le nom du chef-lieu de département ou de sous-préfecture, du village, la date de collecte du matériel végétal et le nom du collecteur.

Une fois revenus des missions de prospection, le matériel végétal prélevé a été conservé sous cinq formes :

- herbier ;
- conservation à l'alcool ;
- photo ;
- pépinière ;
- jardin botanique.

Ceci pour permettre une meilleure connaissance des espèces d'une part et accroître les chances de leur préservation d'autre part.

## 2.4. Méthode d'analyse des espèces inventoriées

L'inventaire effectué a permis de dresser une flore des espèces fruitières sauvages pour chaque région. Pour nommer les taxons, divers manuels de botanique ont été utilisés : la flore

de Aubreville (1950), les ouvrages de Aké Assi (2001), et les publications de Fouqué (1981) parues dans la revue *Fruits*.

Par ailleurs, des articles de recherche et autres ouvrages ont permis de recueillir les informations relatives à la valeur nutritionnelle des espèces inventoriées.

## 2.5. Création d'un jardin botanique

### 2.5.1. Mise en place du matériel végétal collecté en pépinière

À l'issue des prospections, le matériel végétal de plantation rapporté (fruits, graines, boutures, sauvageons) a été mis en place dans des pots contenant du substrat composé de terre franche, de sable et de fumier ayant les mêmes proportions. Après semis des graines ou repiquage des sauvageons ou mise en place des boutures dans les pots, les plants ont séjourné en pépinière avant d'être transplantés au champ. Les observations ont consisté à enregistrer d'une part les dates de semis des graines ou de mise en place des boutures ou des sauvageons, et d'autre part celles de transplantation des plants au champ.

### 2.5.2. Création de la plantation

La création de la plantation a comporté deux étapes :

- La préparation du terrain, à savoir le désherbage, le piquetage, la trouaison, l'épandage de la fumure de fond et le rebouchage. Le piquetage a été réalisé en respectant l'espacement de 10 m entre les plants. Les trous ont été faits aux dimensions de 60 cm aussi bien pour la profondeur que pour le diamètre.
- La transplantation des plants au champ. À cette occasion huit plants ont été mis en place par espèce.

## 2.6. Essai de domestication d'une espèce majeure

Toutes les espèces recensées ont été mises en pépinière. Celles pour lesquelles suffisamment de plants ont été disponibles ont servi à créer la collection.

Cependant, en raison de l'intérêt que porte la population à l'espèce *Ricinodendron heudelotii* Baill. (Euphobiaceae) dont les amandes servent à la confection de plusieurs mets, il a été entrepris d'étudier les conditions de domestication de cette espèce. La première étape a été l'étude de la germination des graines de l'espèce.

## 2.7. Étude de la germination

Cette étude vise à déterminer les conditions optimales de germination des semences de *Ricinodendron heudelotii*.

### 2.7.1. Semis et entretien de la pépinière

Avant le semis, les graines ont été extraites de fruits mûrs de couleur marron. Les graines munies de leurs coques n'ont subi aucun traitement particulier destiné à hâter leur germination. Elles ont été semées dans 156 pots de 25 cm de long, 20,5 cm de large et 0,3 mm d'épaisseur chacun, perforés sur les côtés et à la base et contenant du substrat composé de terre, de sable et de fumier en proportions égales. Chaque graine a été enfouie dans le substrat préalable mouillé, et les pots ont été ensuite répartis en trois blocs de 52 pots chacun sous abris où l'incidence des rayons solaires est réduite.

## 2.8. Variables observées

Après le semis, l'essai a été visité quotidiennement jusqu'à la fin de la germination. Les données enregistrées ont été les dates de germination et le nombre de noix germées correspondant.

## 2.9. Analyses statistiques

Les statistiques élémentaires ont été utilisées pour l'analyse des données dont le logiciel Genstat 5 Release 3.2.

## 3. Résultats

### 3.1. Études des espèces inventoriées

#### 3.1.1. Familles, genres et formes biologiques des espèces inventoriées

Vingt deux espèces appartenant à 20 genres, réparties en 18 familles ont été inventoriées.

La forme biologique prépondérante a été l'arbre. Elle a regroupé 86,35 % de l'ensemble des espèces. Les arbustes, les lianes et les herbacées ont eu le même taux de représentation (4,55 %) (Tableau 2).

**Tableau 2.** Inventaires des espèces recensées.

Espèce	Famille	Nom local	Forme biologique	Habitat	Valeur nutritionnelle	Utilisation	Mode de multiplication
<i>Antrocaryon micraster</i>	Anacardiaceae	Akwa (Abey)	Arbre	Forêt			Semis des graines
<i>Beilschmiedia mannii</i>	Lauraceae	Atiokouo (Abey), Bietou, Bitéi (centre-ouest et sud-ouest)	Arbre	Ubiquiste	Protéines Glucides Lipides Eléments minéraux : Ca, Mg, K, Na, Fe	Les cotylédons servent à confectionner des sauces	Semis des graines
<i>Buchholzia coriacea</i>	Capparidaceae	Amon (Abey)	Arbre	Forêt	Non obtenu		
<i>Cleistopholis patens</i>	Anonaceae	Bouhoubou (Dida), Sobou (Abey)	Arbre	Ubiquiste	Non obtenu	L'amande de la graine sert à aromatiser les sauces	Semis des graines
<i>Coula edulis</i>	Olacaceae	Attia (Abey)	Arbre	Ubiquiste	Non obtenu	L'amande de la graine, au goût de noix est très appréciée	Semis des noix
<i>Dacryodes klaineana</i>	Burseraceae	Krinja (Agni), Sagnon (Dida)	Arbre	Ubiquiste	Non obtenu	Fruits consommés en frais. Feuilles utilisées en médecine traditionnelle	Semis des graines
<i>Garcinia kola</i>	Clusiaceae	Petit kola Aouolié (Abey)	Arbre	Ubiquiste	Non obtenu	Les graines amères consommées pour leur effet stimulant	Semis des graines
<i>Irvingia gabonensis</i>	Irvingiaceae	Boborou (Abey), Kakourou (Gouro)	Arbre	Ubiquiste	Protéines Lipides Glucides Ca, Fe	Les cotylédons servent à confectionner des sauces gluantes et aromatiques	Semis des graines

**Tableau 2.** Inventaires des espèces recensées (suite).

Espèce	Famille	Nom local	Forme biologique	Habitat	Valeur nutritionnelle	Utilisation	Mode multiplication
<i>Myrianthus arboreus</i>	Cecropiaceae	Wougnan (Abey), Pissia (Dida) Djin (Akyé)	Arbre	Ubiquiste	Dans les feuilles, il y a : Protéines Ca, Mg, K, P, N, Na, Mn, Fe, Cu, Zn	Les fruits sucrés acidulés sont consommés. Les jeunes feuilles servent à la confection de sauces	Semis des graines
<i>Napoleanaea vogelii</i>	Napoleonaceae	Tèkpi (Akyé)	Arbuste	Forêt	Non obtenu	La pulpe entourant la graine est consommée	Semis des graines
<i>Parkia biglobosa</i>	Mimosaceae	Néré (Malinké) Kpalè (Baoulé)	Arbre	Savane	Glucides Lipides Protéines Vitamines : A, C, B1, B2 Minéraux : Fe, Zn, Ca et P	Les fruits interviennent dans beaucoup de recettes alimentaires. Les autres parties de la plante sont employées en médecine traditionnelle	Semis des graines, drageonnage
<i>Ricinodendron heudelotii</i>	Euphorbiaceae	Akpi (Abey, Agni, Baoulé) Gbakouè (Dida)	Arbre	Ubiquiste	Protides Lipides Sodium Cellulose Éléments minéraux	L'amande sert à confectionner des sauces	Semis des graines
<i>Saba florida</i>	Apocynaceae	Sagba (Malinké)	Liane	Savane	Non obtenu	La pulpe entourant la graine, charnue et acidulée est consommée	Semis des graines
<i>Spondias mombin</i>	Anacardiaceae	N'gba (Abey, Akyé), Toto (Dida)	Arbre	Ubiquiste	Propriétés antibactériennes, antiépileptique, etc.	Fruits consommés et feuilles utilisées en pharmacopée	Semis et bouturage
<i>Tamarindus indica</i>	Caesalpiniaceae	Tomi (Malinké)	Arbuste	Ubiquiste	Protéines Lipides Glucides Vitamines (B1, B2, B3, B5, B6, C) Éléments minéraux (Ca, Cu, Fe, Mg, P, K, Se, Na)	La pulpe des fruits sert à fabriquer des boissons	Semis des graines
<i>Tarrietia utilis</i>	Sterculiaceae	Niangon	Arbre	Forêt	Non obtenu	Les graines sont consommées	Semis des graines
<i>Tetrapleura tetraptera</i>	Fabaceae	Essèhèsè	Arbre	Ubiquiste	Non obtenu	Le fruit entier sert à parfumer l'eau de boisson	Semis des graines



**Tableau 2.** Inventaires des espèces recensées (suite).

Espèce	Famille	Nom local	Forme biologique	Habitat	Valeur nutritionnelle	Utilisation	Mode multiplication
<i>Thaumatococcus daniellii</i>	Marantaceae	Angondro N'gna (Agni, Baoulé)	Herbacée	Forêt Jachère	Non obtenu	Le mucilage qui entoure la graine des fruits mûrs est un édulcorant	Semis des graines Transplantation des rhizomes
<i>Tieghemella heckelii</i>	Sapotaceae	Makoré	Arbre	Forêt	Non obtenu	L'amande séchée de la graine donne une matière grasse alimentaire appelée beurre de Makoré	Semis des graines
<i>Treculia africana</i>	Moraceae	Blèblé n'dou (Agni)	Arbre	Ubiquiste	Protéines Lipides Eléments minéraux : P, Na, K, Ca, Mg, Mn, Cu et Zn	La pulpe du syncarpe séchée sert à faire des sauces comme succédané de la viande. Les graines grillées sont comestibles	Semis des graines
<i>Tricoscypha arboreae</i>	Anacardiaceae	Dao (Abey), Alakpin (Agni),	Arbre	Forêt	Non obtenu	Consommation des fruits frais très sucrés	Semis des graines
<i>Xylopia aethiopica</i>	Annonaceae	Essin (Agni)	Arbre	Ubiquiste	Non obtenu	Graines utilisées comme condiment, succédané du poivre	Semis des graines

### 3.1.2. Habitat

Différents milieux écologiques abritent les différentes espèces. En effet, 63,64 % des espèces sont ubiquistes, 31,82 % se rencontrent en forêt et 4,54 % en savane.

*Thaumatococcus daniellii* se rencontre aussi bien en forêt que dans les jachères (Tableau 2).

### 3.1.3. Utilisation et valeur nutritionnelle

Les fruits sont les organes les plus consommés. Ils représentent 59 % des espèces rencontrées.

Les amandes des graines (31,81 %) et les feuilles (4,55 %) sont surtout utilisées dans la confection des sauces. Certaines espèces sont utilisées en médecine traditionnelle.

Par ailleurs, les différents organes consommés ont une grande valeur nutritionnelle. En effet, ils contiennent des glucides, des lipides, des protéines et sont riches en vitamines et en éléments minéraux (Tableau 2).

### 3.1.4. Mode de reproduction

Toutes ces espèces se reproduisent par semis (100%). En plus de se reproduire par semis, certaines se reproduisent par bouturage (*Spondias mombin*) et par drageonnage (*Thaumatococcus daniellii*) (Tableau 2).

### 3.2. Essai de domestication

#### 3.2.1. Élevage en pépinière et mise en collection de quelques espèces inventoriées

Le processus de domestication s'est fait en deux étapes : la mise en place du matériel végétal et l'élevage des plants en pépinière puis la transplantation des plants au champ.

Le matériel végétal utilisé était composé de graines et de sauvageons.

La majeure partie des semis a été effectuée en 1994. Seules quelques espèces ont été mises en pépinière en 1995.

La durée moyenne du séjour en pépinière a été de 11,64 mois. Les durées minimales et maximales ont été respectivement 3,5 et 24 mois. Huit plants par espèce ont été transplantés.

Toutefois, toutes les espèces inventoriées n'ont pas été mises en collection. Les introductions devraient se faire de façon progressive (Tableau 3).

**Tableau 3.** Espèces mises en collection.

Espèce	Famille	Nom local	Date de mise en pépinière	Type de semence	Date de plantation	Durée du séjour en pépinière	Nombre de plants transplantés
<i>Antrocaryon micraster</i>	Anacardiaceae	Akwa (Abey)	25/08/1994	Sauvageon	24/07/1995	11 mois	8
<i>Beilschmiedia mannii</i>	Lauraceae	Atiokouo (Abey), Bietou, Bitéi (centre-ouest et sud-ouest)	4/08/1994	Sauvageon	24/07/1995	11 mois	8
<i>Buchholzia coriacea</i>	Capparidaceae	Amon (Abey)	25/08/1994	Graine	24/07/1995	11 mois	8
<i>Cleistopholis patens</i>	Anonaceae	Bouhoubou (Dida), Sobou (Abey)	30/11/1994	Graine	24/07/1995	8 mois	8
<i>Dacryodes klaineana</i>	Burseraceae	Krinja (Agni), Sagnon (Dida)	25/08/1994	Sauvageon	24/07/1995	11 mois	8
<i>Garcinia kola</i>	Clusiaceae	Petit kola Aouolié (Abey)	25/08/1994	Graine	16/08/1996	24 mois	8
<i>Garcinia kola</i>	Clusiaceae	Petit kola Aouolié (Abey)	25/08/1994	Graine	16/08/1996	24 mois	8
<i>Irvingia gabonensis</i>	Irvingiaceae	Boborou (Abey), Kakourou (Gouro)	10/04/1995	Sauvageon	24/07/1995	3,5 mois	8
<i>Myrianthus arboreus</i>	Cecropiaceae	Wougnan (Abey), Pissia (Dida) Djin (Akyé)	25/08/1994	Graine	24/07/1995	11 mois	8
<i>Ricinodendron heudelotii</i>	Euphorbiaceae	Akpi (Abey, Agni, Baoulé) Gbakoué (Dida)	25/08/1994	Graine	12/07/1996	23,5 mois	8
<i>Saba florida</i>	Apocynaceae	Sagba (Malinké)	10/04/1995	Graine	12/07/1996	15 mois	8

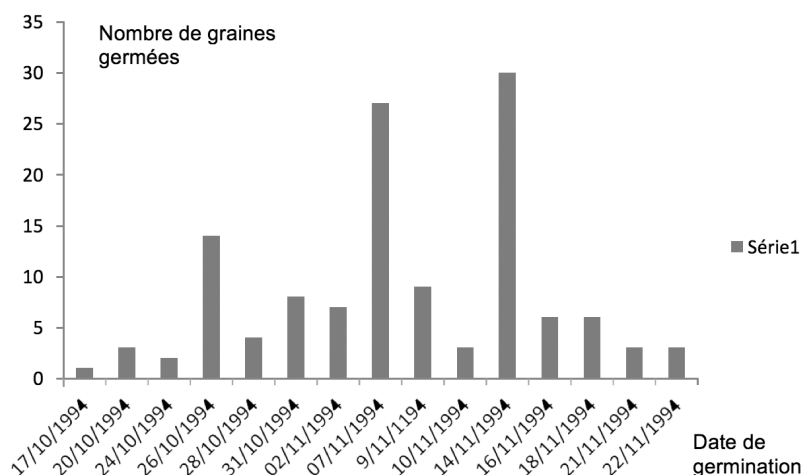


Figure 1. Processus de germination des graines de *Ricinodendron*.

### 3.2.2. Étude de la germination d'une espèce très prisée par les populations locales : *Ricinodendron heudelotii* Baill. (*Euphorbiaceae*)

Le semis des graines a été réalisé le 13/09/1994. La première graine germée a été observée le 17/10/1994, et au-delà du 22/11/1994, aucune germination n'a plus été observée. Le délai de la germination a donc été de 34 jours après semis et la durée du processus a été de 35 jours après germination (Figure 1).

Après le début de la germination, de nouvelles graines ont germé, en moyenne tous les 2 à 3 jours. Une alternance a été observée au niveau de la germination. En effet, des jours d'abondante germination ont été suivis de ceux de faible germination (Figure 1).

Les plus grandes quantités de graines germées ont été 27 et 30. Elles ont été observées les 7 et 14/11/1994, soit 20 et 27 jours après la germination (Figure 1).

### 3.2.3. Faculté germinative

La faculté germinative ou pourcentage de noix germées est de 80,76 % (Tableau 4).

### 3.2.4. Énergie germinative

L'énergie germinative ou rapidité de germination, est le taux moyen de semences ayant germé dans le 1/3 du temps nécessaire à la germination de toutes les noix. Il est de 25,39 % (Tableau 4).

Tableau 4. Quelques caractéristiques de la germination des graines de *Ricinodendron heudelotii*.

Paramètre	Valeur
Nombre de graines semées	156
Nombre total de noix germées	126
Taux de germination correspondant (%)	80,76
Durée de la période de germination (JAG)	35
Tiers du temps nécessaire à la germination (Jour)	11,66
Nombre de semences germées pendant le tiers du temps nécessaire à la germination	32
Taux de germination correspondant (%)	25,39 %

## 4. Discussion

Seulement 22 espèces appartenant à 20 genres, réparties en 18 familles ont été inventoriées. En outre 86,35 % des espèces inventoriées sont des arbres. Cette situation peut s'expliquer par l'objectif de l'étude qui avait accordé la priorité aux arbres et arbustes à fruits et autres organes comestibles. En marge de cela, les milieux prospectés étaient constitués aussi bien de forêts secondaires que de plantation de cacaoyers et de caféiers où quelques arbres utiles étaient laissés sur place. Or, les espèces prisées par les populations, et qui sont surtout celles dont les fruits servent à la confection des sauces, ne sont pas mises dans des conditions qui puissent favoriser leur régénération. En effet, les fruits sont ramassés pour la consommation, sans que l'on songe à les replanter pour assurer leur pérennité. Ce que l'on se contente de faire, c'est de laisser sur place quelques arbres qu'on exploite jusqu'à leur disparition par sénescence ou abattage lors de la création de nouvelles plantations. Dans un tel contexte, la disparition des espèces ne pourra que s'accroître.

Au contraire, la situation inverse est constatée chez les populations où les traditions agricoles sont encore peu importantes et qui laissent à la cueillette le soin de compléter les ressources alimentaires (Thomas, 1960). Les espèces fruitières sauvages poussent naturellement de façon spontanée. C'est pourquoi elles sont plus nombreuses dans les milieux naturels que sont la forêt et la savane.

Toutefois, on peut les rencontrer dans les jachères, les plantations pérennes (cas des plantations de cacaoyers et de caféiers ayant en leur sein de grands arbres tels que *Ricinodendron heudelotii*, *Irvingia gabonensis*, *Beilschmiedia manii*, etc., en Côte d'Ivoire forestière) et en association avec les cultures vivrières ou annuelles (cas du coton, de l'arachide, du maïs partageant le même espace que *Parkia biglobosa* (nééré) et *Vittelaria paradoxa* (karité) en zone de savane, au Nord de la Côte d'Ivoire). Dans de telles conditions, en zone forestière, on dénombrera peu d'arbres sauvages, ceux laissés sur place dans les plantations parce qu'étant utiles à l'homme qui en tire des profits alimentaires et économiques. Nos observations sont en accord avec celle de Kouamé (2008) qui a montré que les espèces alimentaires spontanées sont plus nombreuses dans les forêts et les jachères que dans les plantations.

Les fruits sont les organes les plus consommés. Ils représentent 59 % des espèces rencontrées. Les amandes des graines (31,81 %) et les feuilles (4,55 %) sont surtout utilisées dans la confection des sauces.

Les différents organes consommés ont une grande valeur nutritionnelle. En effet, ils contiennent des glucides, des lipides, des protéines et sont riches en vitamines et en éléments minéraux (Sahoré et al., 2012). Il a été même démontré que les espèces fruitières sauvages sont de véritables concentrés de nutriments, la plupart du temps en tête de liste pour celles dont les analyses sont disponibles. Les feuilles des plantes sauvages contiennent des quantités significatives de protéines, contrairement à celles des plantes cultivées, donc de même qualité que celles que l'on trouve dans la viande. Comme les plantes cultivées, elles ont toutes des propriétés médicinales plus ou moins connues. Ayoka et al. (2008) ont rapporté que toutes les parties de *Spondias mombin* sont importantes en médecine traditionnelle. Par ailleurs, Ayoka et al. (2006) ont mis en évidence les propriétés sédatives, anxiolytiques, antiépileptiques de cette espèce. Selon Ambé (2001), la détermination de la valeur nutritionnelle des fruits de certaines espèces est un argument de leur valorisation. Toutes ces espèces se reproduisent par semis (100 %). En plus de se reproduire par semis, certaines se reproduisent par bouturage (*Spondias mombin*) et par drageonnage (*Thaumatococcus daniellii*).

Toutefois, il est possible de les reproduire par voie végétative quand cela s'y prête. C'est d'ailleurs la voie par excellence pour reproduire fidèlement une espèce et réduire son cycle de développement. Actuellement, la majeure partie des espèces fruitières cultivées telles que le

manguier, l'avocatier, les agrumes sont multipliés par greffage. Aussi dispose-t-on de vergers fruitiers homogènes du point de vue variétal et dont la première mise à fruit a été réduite (Bidima, 2006).

Le processus de domestication a comporté une phase de pépinière et une phase de plantation.

La pépinière est une étape importante. En effet, c'est à ce niveau que l'on teste la capacité de germination des semences ou de démarrage des boutures, sauvageons ou marcottes. Et lorsque des difficultés se révèlent à ce niveau, des solutions palliatives peuvent être trouvées. Entre autres, le traitement physique ou chimique des semences (à tégument dur), pour induire la germination des graines à forte dormance. Nos observations sont en accord avec celles de Danthu et al. (2003) qui ont montré que les semences dont les téguments sont imperméables à l'eau et à l'air peuvent différer la germination pendant plusieurs années. Il faut alors procéder à la scarification de ces graines pour permettre leur imbibition et la germination. La pépinière est aussi le lieu de culture des plants qu'ils soient greffés ou de franc pied. Elle offre la possibilité de disposer de matériel végétal homogène (plant de même taille et de vigueur identique), permettant de créer des plantations dans lesquelles la floraison et la fructification seraient synchrones. La relative longue durée du séjour des plants en pépinière est en rapport avec le délai de germination des semences et la croissance des plants.

Sans traitement préalable, le délai (34 jours) et la durée (35 jours) de la germination des semences de *Ricinodendron heudelotii* sont longs. Cela est imputable à l'endocarpe scléreux qui entoure l'amande, siège de l'embryon. Cette contrainte doit être levée pour raccourcir le délai et la durée de la germination et par conséquent le séjour en pépinière des plants. Les travaux de Kouamé et al. (2012) ont donc été conduits pour répondre à cette préoccupation. Ces travaux ont permis de ramener le délai de germination de 34 jours (sans traitement) à 12-14 jours avec traitement. Même si dans nos conditions, la faculté germinative (taux de germination) a été de 80,76%, l'énergie germinative (vitesse de germination) a par contre été faible (25,39%). Selon Lasnier-Lachaise (1973), c'est à partir de 50% que l'énergie germinative est dite bonne. Nos résultats ne concordent pas avec ceux de Kouamé et al. (2012) qui sont de l'ordre de 20% (graines non traitées). Cela pourrait s'expliquer par le fait que les pots contenant un substrat équilibré et dans lesquels ont été semées les graines, ont été mis sous hangar où les rayons incidents étaient réduits. En outre, ils étaient arrosés 3 à 4 fois par semaine. Il est important de signaler que l'ombrage contribue aussi à atténuer les attaques des psylles sur les plants de *Ricinodendron heudelotii*.

## Bibliographie

- Aké-Assi L., 2001. Flore de la Côte d'Ivoire 1, catalogue, systématique, biogéographie et écologie. *Boissiera*, **57**, 396 p., Conservatoire et Jardin Botanique, Genève, Suisse.
- Ambé G.A., 2001. Les fruits sauvages comestibles des savanes guinéennes de Côte d'Ivoire : État de la connaissance par une population locale, les Malinkés. *Biotechnologie, Agronomie, Société, Environnement*, **5**(1), 43-58.
- Aubreville A., 1950. *Flore forestière Soudano-Guinéenne*. AOF-Cameroun-AEF- Sociétés d'Éditions Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris, 523 p.
- Ayoka A.O., Akomolafe R.O., Iwalewa E.O., Akanmu M.A., Ukponmwan O.E., 2006. Sedative, antiepileptic and antipsychotic effects of *Spondias mombin* L. (Anacardiaceae) in mice and rats. *Journal of Ethnopharmacology*, **103**, 166-175.
- Ayoka A.O., Akomolafe R.O., Ukponmwan O.E., 2008. Medicinal and Economic Value of *Spondias mombin*. *African Journal of Biomedical Research*, **11**, 129-136. Ibadan Biomedical Communication Groups.

- Bidima I.M., 2006. *Le greffage des arbres fruitiers : Agrumes, manguiers, avocatiers*. Fiche Technique, 13 p. [http://www.ired.org/modules/infodoc/cache/files/french/la\\_voix\\_du\\_paysan\\_186\\_2006\\_le\\_greffage\\_des\\_arbres\\_fruitiers.pdf](http://www.ired.org/modules/infodoc/cache/files/french/la_voix_du_paysan_186_2006_le_greffage_des_arbres_fruitiers.pdf)
- Bois D., 1920. *Les plantes alimentaires chez tous les peuples et à travers les âges*. Vol. II. Paul Lechevallier, Paris, 637 p.
- Danthu P., Roussel J., Neffati M., 2003. La graine et la germination d'*Acacia raddiana*. In : Grouzis M., Le Floc'h E. (eds). *Un arbre au désert : Acacia raddiana*. IRD Éditions, Paris, p. 265-283. [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers10-07/010033280.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers10-07/010033280.pdf)
- Dupriez H., De Leener Ph., 1993. *Arbres et agricultures multiétiquées d'Afrique*. Terre et vie/CTA, Wageningen, The Netherlands.
- Fouqué A., 1981. Les plantes médicinales présentes en forêt guyanaise : Anacardiacees, Ampélidacées, Flacourtiacées, Méliacées, Monimiacées, Passifloracées, Sterculiacées, Violacées. *Fruits*, **35**(4), 223-240.
- Gautier-Béguin D., 1992. *Étude ethnobotanique des plantes de cueillette à utilisation alimentaire dans un village au sud du V-Baoulé (Côte d'Ivoire centrale)*. Thèse de Doctorat ès Sciences Techniques. Université de Genève, 368 p.
- Kouamé N.M.T., Gnahoua G.M., Konan E., Kouassi K.E., Traoré D., 2008. Plantes alimentaires spontanées de la région du Fromager (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) : flore, habitats et organes consommés. *Sciences & Nature*, **5**(1), 61-70.
- Kouamé N.M.T., Gnahoua G.M., Mangara A., 2012. Essai de domestication de *Ricinodendron heudelotii* (Euphorbiaceae) dans la région du Fromager au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, **56**, 4133-4141.
- Lasnier-Lachaise L., 1973. *Agronomie nouvelle*. Flammarion, Paris, 347 p. Coll. La terre.
- Malaisse F., 1997. *Se nourrir en forêt claire africaine. Approche écologique et nutritionnelle*. Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique/CTA, Wageningen, Pays-Bas, 384 p.
- N'Dri P., 1986. *Contribution à l'étude de quelques plantes alimentaires spontanées de la région de Divo (Côte d'Ivoire)*. Mémoire de D.E.A., Université de Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire, 65 p.
- Parisot E., 1988. Étude de la croissance rythmique chez de jeunes manguiers (*Mangifera indica* L.). Troisième partie : croissance et développement de jeunes manguiers. *Fruits*, **43**(4), 235-247.
- Sado T., 2009. *Rapport de formation sur les techniques de multiplication végétatives des espèces agroforestières de valeur menacées de disparition dans la région du Sud-Cameroun*. ICRAF, FAO, CIFOR, UE, CFAC. Fiche Technique, 9 p.
- Sahoré A.D., Nemlin J.G., Tetchi A.F., 2012. Study of Physicochemical Properties of Some Traditional Vegetable in Ivory Coast: Seeds of *Beilschmiedia manii* (Lauraceae), seeds of *Irvingia gabonensis* (Irvingiaceae) and *Volvariella volvaceae*. *Food and Nutrition Sciences*, **3**, 14-17.
- Tchiengang C., Kapseu C., Ndjouenkeu R., Ngassoum M.B., 1997. Amandes de *Ricinodendron heudelotii* (Baill.) : Matière première potentielle pour les industries agro-alimentaires tropicales. *Journal of Food Engineering*, **32**(1), p. 1-10.
- Tehe H., 1980. *Utilisation des plantes chez les Guérés et les Oubis (Côte d'Ivoire)*. Centre ORSTOM, Adiopo Doumé, Côte d'Ivoire, 40 p.
- Tehe H., 1980. Utilisation des ressources forestières chez les Guérés et les Oubis (Côte d'Ivoire). *Banco*, **4**, 26-30.
- Thomas J.M.C., 1960. Quelques plantes connues des Ngbaka de la Lobaye. *Journal de la Société des Africanistes*, **30**(1), 75-93.

## Amélioration de la productivité du maïs par l'utilisation des rhizobactéries PGPR

Noumavo Pacôme A., Agbodjato Nadège A., Baba-Moussa Lamine, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, E-mail : laminesaid@yahoo.fr  
Adjanohoun Adolphe, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Attogon, Bénin

### Résumé

L'utilisation des bio-ressources en substitution aux intrants de synthèse dans l'agriculture constitue l'une des solutions aux problèmes environnementaux causés par ces derniers. Au nombre de ces bio-ressources, les rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (PGPR) focalisent de plus en plus l'attention des scientifiques. L'objectif de cette étude est d'évaluer les effets de 15 rhizobactéries potentiellement promotrices de la croissance des plants en termes de croissance, de rendement et d'état nutritionnel des plants de maïs sur sol ferralitique non dégradé du Sud du Bénin. Les semences de maïs ont été inoculées avec des suspensions bactériennes d'environ  $10^8$  UFC par ml. La hauteur des plants et le nombre de feuilles apparues ont été enregistrés sur 10 plants par traitement une fois par semaine, à partir du 7<sup>e</sup> jour après le semis. À la récolte, les biomasses aériennes et souterraines produites ainsi que la quantité de maïs grain obtenue ont été pesées par plant et par parcelle élémentaire. Les teneurs en azote, en phosphore et en potassium ont été mesurées sur des échantillons de plants de maïs. Parmi les 15 rhizobactéries testées, *Azospirillum lipoferum*, *Pseudomonas fluorescens* et *Pseudomonas putida* ont induit un gain de hauteur des plants; *P. fluorescens* et *P. aeruginosa* ont augmenté la biomasse aérienne fraîche; *P. fluorescens* a induit le rendement en grain de maïs le plus élevé alors que *P. fluorescens*, *P. putida* et *A. lipoferum* ont induit de fortes teneurs en azote, phosphore et potassium. Ces résultats augurent la possibilité d'utiliser ces rhizobactéries comme des fertilisants biologiques pour une production plus massive et plus durable de maïs au Bénin, où la baisse croissante de la fertilité des sols met constamment en péril les filières agricoles.

### Improving of maize production by rhizobacteria PGPR

The bio-resources using in substitution of synthetic inputs in agriculture, is one of the solutions to environmental problems caused by them. Among these bio-resources, the plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) focus more scientific attention. The objective of this study was to evaluate the effects, on non-degraded ferralitic soil in Southern Benin, of 15 potentially plant growth promoting rhizobacteria on maize growth, yield and nutritional status. To reach this objective, maize seeds were inoculated with bacterial suspensions of approximately  $10^8$  CFU.ml<sup>-1</sup>. From the 7<sup>th</sup> day after sowing, parameters such as plant height and number of emerged leaves were collected on 10 plants per treatment once a week. At harvest, the aerial and underground biomass as well as maize seeds were weighed per plant and per plot. The maize plant contents in nitrogen, phosphorus and potassium were determined. Out of the 15 tested rhizobacteria, *Azospirillum lipoferum*, *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida* induced higher plants; *P. fluorescens* and *P. aeruginosa* increased the aerial fresh biomass; *P. fluorescens* gave the highest seeds yield *P. fluorescens*, *P. putida* and *A. lipoferum* induced the highest uptake levels of nitrogen, phosphorus and potassium. These results suggest that PGPR can be considered as efficient alternative biofertilizers to promote maize crop productivity Benin.

### Introduction

Les rendements de maïs obtenus au niveau des producteurs agricoles du Sud du Bénin sont largement en-deçà des rendements potentiels des variétés vulgarisées (Badu-Apraku et al., 2009). La baisse de la fertilité des sols en est l'une des principales causes. Ainsi, la production du maïs, importante pour assurer l'autosuffisance alimentaire et procurer des revenus aux



producteurs, reste encore tributaire de l'utilisation intensive d'engrais minéraux et de produits phytosanitaires. Ces intrants ne sont pas sans conséquences. Les ravageurs deviennent difficilement contrôlables s'ils développent une résistance aux pesticides chimiques. Les nappes phréatiques et les produits agricoles peuvent être contaminés par les métaux lourds issus de l'utilisation de ces intrants agricoles. Ces métaux lourds posent un problème de santé publique, car transférés aux humains, ils interviennent dans la survenue des cancers (Koo et al., 2009).

Ainsi, pour résoudre ces contraintes liées à l'agriculture moderne, de nombreux travaux de recherche ont visé la mise au point de nouvelles technologies de production en vue d'accroître la productivité du maïs au Bénin (INRAB, 2006). Malheureusement, très peu de ces technologies sont adoptées par les producteurs du fait des changements de comportement qu'impose leur utilisation (Loconon, Floquet, 1996). Il convient donc de rechercher des technologies performantes nécessitant peu de changement de comportement des producteurs lors de leur application, et favorables à l'équilibre nature-agriculture, dans une perspective d'agriculture écologiquement saine. L'utilisation des rhizobactéries promotrices de la croissance des plantes (en anglais *Plant Growth Promoting Rhizobacteria*, PGPR) entre dans cette perspective, en contribuant à une meilleure gestion de la fertilité des sols. Les PGPR constituent un groupe de microorganismes colonisateurs des racines des plantes, dont les effets positifs sur la croissance et le rendement des plantes ont été indiqués (Saharan et al., 2011). Une large gamme d'espèces appartenant aux genres *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Burkholderia*, *Bacillus* et *Serratia* a été rapportée comme PGPR (Saharan et al., 2011). Les mécanismes d'actions des PGPR sur la croissance des plantes quoique non encore complètement élucidés permettent de les classer essentiellement en quatre groupes : « les bio-fertilisateurs » pour leur aptitude à solubiliser le phosphate minéral et à fixer l'azote atmosphérique (Salantur et al., 2006), « les phyto-stimulateurs » pour leur habileté à produire des phytohormones (Egamberdiyeva, 2007), « les rhizo-remédiateurs » du fait de leur capacité à dégrader les polluants organiques (Somers et al., 2004) et enfin « les bio-pesticides » pour leur aptitude à produire des sidérophores, à synthétiser des antibiotiques, des enzymes et/ou composés fongicides (Ahmad et al., 2006). Ces mécanismes peuvent être déclenchés simultanément ou individuellement à différents stades de développement de la plante (Ahmad et al., 2008).

Aujourd'hui, cette biotechnologie focalise de plus en plus l'attention des chercheurs opérant dans le domaine des biotechnologies végétales. Les premières observations d'effets PGPR ont été réalisées avec *Pseudomonas* spp. isolées de la racine de certaines cultures (Couillerot et al., 2012). En traitant les graines de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) avec des suspensions bactériennes de *Pseudomonas fluorescens* et de *Pseudomonas putida*, Burr et al. (1978) ont obtenu une augmentation statistiquement significative du rendement variant de 14 à 33 % dans 59 champs établis en Californie et en Idaho. Certaines souches de *Pseudomonas putida* et *Pseudomonas fluorescens* pourraient accroître l'élongation de la racine et de la tige du colza (Glick, Basham, 1997), du blé et de la pomme de terre (Frommel et al., 1993). *Azospirillum* est une importante PGPR utilisée pour la phyto-stimulation de plusieurs types de cultures (principalement les céréales) sous différentes conditions climatiques (Pedraza et al., 2009). Hernandez et al. (1995) affirmaient que les espèces *P. cepacia*, *P. fluorescens* et *S. aurantiacus* sont les plus efficaces sur les sols ferrallitiques rouges de Cuba. Les travaux réalisés par Gholami et al. (2009) sur le maïs ont révélé un gain du pourcentage de germination de 31,94 % et 30,55 % respectivement avec *P. putida* R-168 et *A. brasilense* DSM 1690. Certains auteurs ont montré l'avantage et l'efficacité des combinaisons rhizobactériennes sur la germination des grains. Ainsi, l'inoculation des grains de blé (*Triticum turgidum*) par la combinaison *Azospirillum* WM-3-*Azotobacter* WPR-51-*Azospirillum* PR42 avait amélioré le pourcentage de germination de 81,81 % (Fatima et

al., 2009). En combinant des micro-organismes possédant différentes capacités métaboliques, nous pourrions avoir des effets additifs ou synergiques résultant de la combinaison des dites capacités phytobénéfiques, qui peuvent rehausser la performance de ces microorganismes (Couillerot et al., 2012).

Cet article a traité à l'étude des effets de 15 rhizobactéries sur les plants de maïs sur sol ferrallitique non dégradé au Sud du Bénin, en termes de croissance, de rendement et d'état nutritionnel.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Zone d'étude

L'étude a été conduite sur la station expérimentale du Centre de Recherches Agricoles du Sud du Bénin situé à une altitude de 105°, longitude 2° 19' Est, latitude 6° 12' Nord (Bouraima, 2011). Le climat est subéquatorial maritime à deux saisons de pluies et à deux saisons sèches. La pluviométrie moyenne, de 1 200 mm, est étalée sur 7 mois (mai à novembre) avec des précipitations maximales en juin et octobre et des minimales en août. La température moyenne est de l'ordre de 27°C. Le sol est ferrallitique, profond et sans concrétion (Diels et al., 2003). Le pH-eau du sol est de 6,2, le taux de matière organique est de 1,6%, la teneur en phosphore assimilable est de 18,5 ppm et enfin les bases échangeables tels que le potassium, le calcium et le magnésium présentent des valeurs respectives de 0,2 méq/100 g de sol, 4,7 méq/100 g de sol et 1,7 méq/100 g de sol (Adjanohoun et al., 2011).

### 2.2. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental était un bloc aléatoire complet à 16 traitements et à 4 répétitions. Les différents traitements ont couvert chacun une parcelle élémentaire de 4 m x 3,2 m soit 12,8 m<sup>2</sup>. Chaque parcelle élémentaire comportait 4 lignes de 4 m de long. Le semis a été fait à un écartement de 0,80 m x 0,40 m soit une densité de 31 250 plants/ha. La parcelle utile de 7,5 m<sup>2</sup>, où les données de rendement ont été collectées, correspondait aux deux lignes centrales.

Les traitements étaient les suivants : parcelles semées sans rhizobactéries (T0), parcelles semées aux semences inoculées avec : *Pseudomonas putida* (T1), *P. aeruginosa* (T2), *P. fluorescens* (T3), *Streptomyces hygroscopicus* (T4), *S. rimosus* (T5), *S. fasciculatus* (T6), *Azospirillum lipoferum* (T7), *Bacillus coagulans* (T8), *B. thuringiensis* (T9), *B. pumilus* (T10), *B. polymixa* (T11), *B. licheniformis* (T12), *B. lentus* (T13), *B. circulans* (T14) et *B. firmus* (T15). Ces rhizobactéries ont été isolées et identifiées par Adjanohoun et al. (2011) au Bénin et conservées au Laboratoire de Biologie et de Typage Moléculaire en Microbiologie (LBTMM) de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin).

### 2.3. Préparation des inocula

Les inocula sont obtenus par culture en milieux nutritifs liquides pendant 24 heures à 30 °C (*Pseudomonas* spp., *Streptomyces* spp.) et à 37 °C (*Bacillus* spp., *Azospirillum lipoferum*). Les concentrations microbiennes d'environ 10<sup>8</sup> UFC/ml ont été utilisées pour inoculer les semences de maïs.

## 2.4. Inoculation et semis

Les semences de base de maïs utilisées étaient de la variété EVDT 97 STR C1. Ce maïs est un composite d'un cycle de 85 à 90 jours (Badu et al., 2009). Après une trouaison d'environ 5 cm de profondeur, deux grains de maïs y ont été déposés. Les semences ont été immédiatement inoculées avec 15 ml de suspension bactérienne (en fonction de chaque traitement) et le poquet a été fermé.

## 2.5. Collecte des données de croissance

La hauteur de 10 plants par traitement est mesurée une fois par semaine, à partir du 7<sup>e</sup> jour après le semis, à l'aide d'une règle graduée. Le nombre de feuilles apparues a été compté une fois par semaine. Les biomasses aérienne et souterraine produites par les plants de maïs ont été pesées, par traitement, à la récolte des épis de maïs 87 jours après le semis (JAS).

## 2.6. Détermination des valeurs de rendement du maïs

Seuls les plants situés sur les deux lignes centrales de chaque parcelle élémentaire ont été récoltés. La superficie élémentaire de calcul de rendement est de 6,4 m<sup>2</sup>. Les épis de maïs récoltés ont été despathés, égrenés et pesés par parcelle élémentaire de calcul de rendement, à l'aide d'une balance de précision (Balance Mxx, Fisher scientific, Bioblock®). Les valeurs de rendement ont été obtenues par la formule suivante :

$$R = \frac{P \times 10\,000}{6,4}$$

avec : R = le rendement en maïs, exprimé en kg/ha ;

P = le poids du maïs par superficie élémentaire de calcul, exprimé en kg/ha.

## 2.7. Détermination de la teneur des plants de maïs en azote, phosphore et potassium

Par parcelle élémentaire, deux plants de maïs munis de racines, de tiges, de feuilles et des épis portant des grains ont été prélevés à la récolte, soit 87 JAS. Ces plants ont été coupés en petits morceaux et mélangés dans un seau. De ce mélange, 500 g ont été prélevés dans un sac de polyéthylène étiqueté. Au total, 64 échantillons ont été prélevés et envoyés au laboratoire pour la détermination des teneurs en azote, phosphore et potassium. Après la minéralisation de la matière végétale et la distillation par la méthode de Kjeldahl (1883), la teneur en azote a été déterminée par la titration, celle du phosphore par la colorimétrie et celle du potassium par le spectrophotomètre d'absorption atomique (Thomas, 1982).

## 2.8. Analyses statistiques des données

Les différents paramètres évalués par période de mesures, par répétition et par traitement ont été soumis à une analyse de variance sur mesures répétées, suivant un modèle mixte à deux facteurs (répétitions et traitement) sans interaction afin d'évaluer les effets des rhizobactéries sur la croissance des plants de maïs. Dans ce modèle d'analyse, les 15 traitements ont été considérés comme un facteur fixe alors que les répétitions ont constitué le facteur aléatoire. Les moyennes ajustées de chaque paramètre par période de mesure sont extraites de l'analyse pour chacun des 15 traitements. Ces valeurs ont été ensuite soumises à une classification numérique (algorithme de Ward) afin de regrouper les 15 traitements en groupes homogènes de croissance morphologique. Les groupes homogènes de traitements de même tendance d'évolution des

paramètres dendrométriques ont été identifiés par la classification numérique et les moyennes des paramètres ont été calculées pour chacun d'eux par période de mesure. Ces moyennes ont été utilisées pour construire les graphiques décrivant, pour chaque groupe de traitement, la tendance évolutive de chacun des paramètres suivant les nombres de jours de mesure.

### 3. Résultats

#### 3.1. Effets des rhizobactéries sur la hauteur des plants de maïs

La figure 1 présente le dendrogramme obtenu de la classification numérique appliquée aux moyennes ajustées de la hauteur des plants de maïs. Avec un niveau de similarité entre les effets des rhizobactéries d'un même groupe de 76,3%, les 15 rhizobactéries ont été partitionnées en 3 groupes.

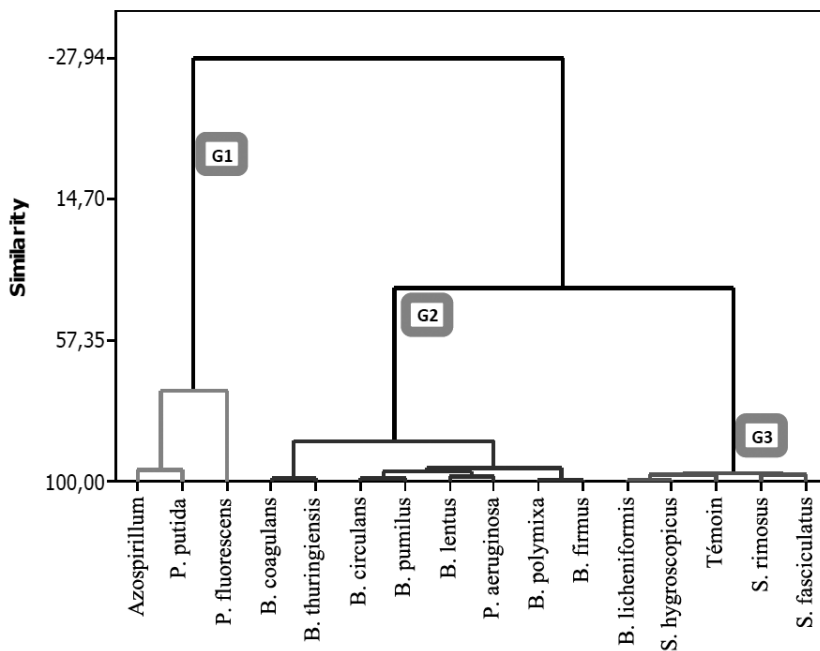
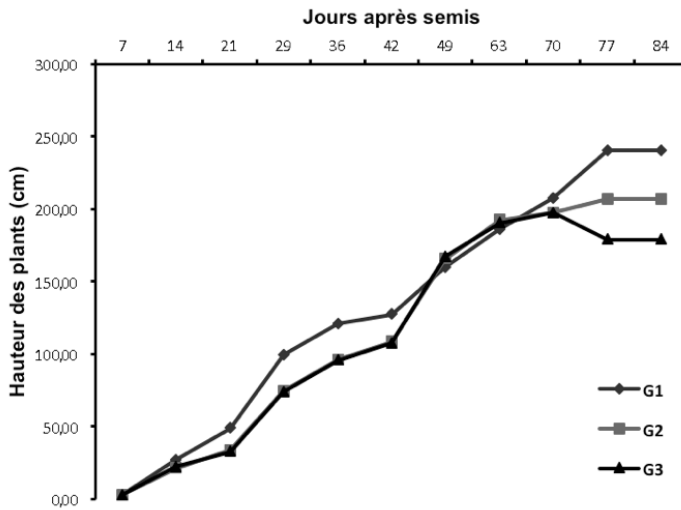


Figure 1. Dendrogramme du regroupement des 15 rhizobactéries en fonction de la hauteur des plants de maïs.

Les groupes G1, G2 et G3 constitués des rhizobactéries ayant induit une hauteur moyenne de plant respectivement de 224,27 cm, 205,77 cm et de 169,90 cm. Les plants témoins (sans inoculation de rhizobactéries) ont eu des valeurs de hauteurs similaires à celles du groupe G3. Il a existé une différence très hautement significative ( $p < 0,0001$ ) entre les valeurs de la hauteur autant d'une période de mesure à l'autre que d'un traitement à un autre.

L'évolution hebdomadaire de la croissance en hauteur des plants de maïs sous les différents traitements bactériens a été variable. La figure 2 présente la tendance évolutive de la hauteur des plants de maïs par groupes de rhizobactéries.



**Figure 2.** Tendance évolutive de la hauteur des plants de maïs par groupes de rhizobactéries.

G1 = *Azospirillum lipoferum*, *Pseudomonas fluorescens* et *P. putida*; G2 = *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus coagulans*, *B. thuringiensis*, *B. pumilus*, *B. polymixa*, *B. lentus*, *B. circulans* et *B. firmus*; G3 = *B. licheniformis*, *Streptomyces hygroscopicus*, *S. fasciculatus* et *S. rimosus*.

### 3.2. Effets des rhizobactéries sur le nombre de feuilles apparues par plant de maïs

Sur la base de la classification numérique appliquée aux moyennes ajustées du nombre de feuilles par plant de maïs pour les 10 périodes de mesure, les 15 rhizobactéries mises en étude ont été classées en 3 groupes, avec un niveau de similarité entre les individus d'un même groupe de 71,4%. Le groupe G1 est constitué des plants de maïs inoculés avec les rhizobactéries *Azospirillum lipoferum*, *Streptomyces fasciculatus*, *Bacillus thuringiensis*, *B. firmus*, *B. circulans*, *B. licheniformis*, *B. polymixa*, *B. lentus* et *B. pumilus* avec des valeurs moyennes de nombre de feuilles par plant de maïs inférieures à 12. Le groupe G2 regroupe les rhizobactéries *B. coagulans*, *Pseudomonas fluorescens*, *Streptomyces hygroscopicus* et *S. rimosus* avec des valeurs moyennes de nombre de feuilles par plant de maïs égales à 12. Et enfin le groupe G3 constitué des rhizobactéries *P. aeruginosa* et *P. putida* avec des valeurs moyennes de nombre de feuilles par plant de maïs supérieures à 12. Les plants témoins ont eu un nombre moyen de feuilles similaire à celui du G3. L'analyse de la variance a montré qu'il n'existe pas de différence significative entre le nombre de feuilles portées par plant de maïs d'un groupe à l'autre ( $p < 0,05$ ).

### 3.3. Effets des rhizobactéries sur la production de biomasse et le rendement des plants de maïs

Le tableau 1 présente les poids des biomasses aériennes et souterraines des plants de maïs sous influences des différentes rhizobactéries. L'induction de la biomasse a largement varié d'un microorganisme à l'autre. Les plus fortes biomasses aériennes ont été enregistrées sur les plants de maïs traités avec *P. fluorescens* (562,50 g) et *P. aeruginosa* (435 g), alors que les plus faibles ont été obtenues avec *S. hygroscopicus* (297,50 g). Pour ce qui est de la biomasse souterraine, *P. putida* a été plus efficace (86 g). Les faibles biomasses souterraines ont été obtenues avec les plants témoins (60,25 g). L'analyse de

la variance a montré qu'il existe une différence très hautement significative ( $p < 0,0001$ ) entre les valeurs de la biomasse aérienne d'une part et celles de la biomasse souterraine d'autre part.

**Tableau 1.** Rendement en grain et poids des biomasses produites par les plants de maïs.

Traitements	Poids de la partie aérienne des plants (g)	Poids de la partie souterraine des plants (g)	Rendements (kg/ha)
Sans bactérie	352,50 c	60,25 b	1875,00 e
<i>P. fluorescens</i>	562,50 a	65,25 b	3921,87 a
<i>B. coagulans</i>	302,50 ef	73,50 ab	2000,00 e
<i>A. lipoferum</i>	325,00 de	73,75 ab	2250,00 cd
<i>S. fasciculatus</i>	315,00 de	75,75 ab	2156,25 de
<i>S. hygroscopicus</i>	297,50 ef	79,00 a	2109,37 de
<i>B. thuringiensis</i>	325,00 de	79,75 a	2078,12 de
<i>B. circulans</i>	342,50 cd	80,00 a	2140,62 de
<i>B. pumilus</i>	302,50 f	81,00 a	2000,00 e
<i>P. aeruginosa</i>	435,00 b	81,25 a	1843,75 e
<i>B. licheniformis</i>	310,00 e	81,50 a	1984,37 e
<i>S. rimosus</i>	317,50 de	81,75 a	2062,50 de
<i>B. polymixa</i>	317,50 de	82,00 a	1984,37 e
<i>B. lentus</i>	327,50 d	82,50 a	1921,87 e
<i>B. firmus</i>	310,00 e	83,25 a	1984,37 e
<i>P. putida</i>	345,00 c	86,00 a	2890,62 bc

Dans la même colonne, les moyennes suivies des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 % d'après le test de Student Newman-Keuls.

À l'exception de *P. aeruginosa* qui a induit un rendement en maïs grain (1843,75 kg/ha) inférieur à celui obtenu au niveau des plants témoins (1875 kg/ha), toutes les autres rhizobactéries se sont variablement révélées efficaces, en particulier *P. fluorescens* (3921,87 kg/ha) (Tableau 1). L'analyse de la variance des rendements moyens de maïs obtenus montre qu'il existe une différence très hautement significative ( $p < 0,0001$ ) entre les traitements.

### 3.4. Effet des rhizobactéries sur les teneurs en azote, phosphore et potassium des plants de maïs

Les rhizobactéries étudiées ont induit des augmentations de teneurs en azote, phosphore et potassium, de manière particulièrement nette pour l'azote et le potassium (Tableau 2). Les plants traités avec *P. fluorescens* ont enregistré les plus fortes teneurs en azote (3,35 % MS), en phosphore (0,22 % MS) et en potassium (0,69 % MS).

Considérant simultanément les teneurs des plants en azote, phosphore et potassium, le dendrogramme obtenu de la classification numérique répartit les 15 rhizobactéries en deux groupes avec un niveau de similarité entre les individus d'un même groupe de 99,4 % (Figure 3).

Le groupe G1, dont les teneurs sont significativement les plus élevées, est constitué des plants inoculés avec les rhizobactéries *P. fluorescens*, *P. putida* et *A. lipoferum*. Toutes les autres rhizobactéries y compris le témoin sont classés dans le groupe G2.

**Tableau 2.** Valeurs moyennes des teneurs en azote, en phosphore et en potassium des plants de maïs.

Traitements	Azote (% MS)	Phosphore (% MS)	Potassium (% MS)
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	3,35 a	0,22 a	0,69 a
<i>Pseudomonas putida</i>	2,60 a	0,21 b	0,55 a
<i>Azospirillum lipoferum</i>	2,33 a	0,21 b	0,26 b
<i>Bacillus coagulans</i>	1,17 b	0,19 d	0,21 b
<i>Bacillus thuringiensis</i>	1,21 b	0,18 e	0,22 b
<i>Bacillus circulans</i>	1,20 b	0,19 d	0,20 b
<i>Bacillus polymixa</i>	1,22 b	0,20 c	0,23 b
<i>Bacillus licheniformis</i>	1,20 b	0,20 c	0,21 b
<i>Bacillus firmus</i>	1,18 b	0,18 e	0,20 b
<i>Bacillus lentus</i>	1,21 b	0,19 d	0,24 b
<i>Bacillus pumilus</i>	1,19 b	0,18 e	0,23 b
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1,21 b	0,15 f	0,23 b
<i>Streptomyces hygroscopicus</i>	1,15 b	0,18 e	0,20 b
<i>Streptomyces rimosus</i>	1,21 b	0,18 e	0,21 b
<i>Streptomyces fasciculatus</i>	1,20 b	0,21 b	0,20 b
Sans bactérie	1,18 b	0,15 f	0,25 b
Signification	***	*	***

\* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ ; \*\*\* =  $p < 0,001$ . Dans la même colonne, les moyennes suivies des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 % d'après le test de Student Newman-Keuls.

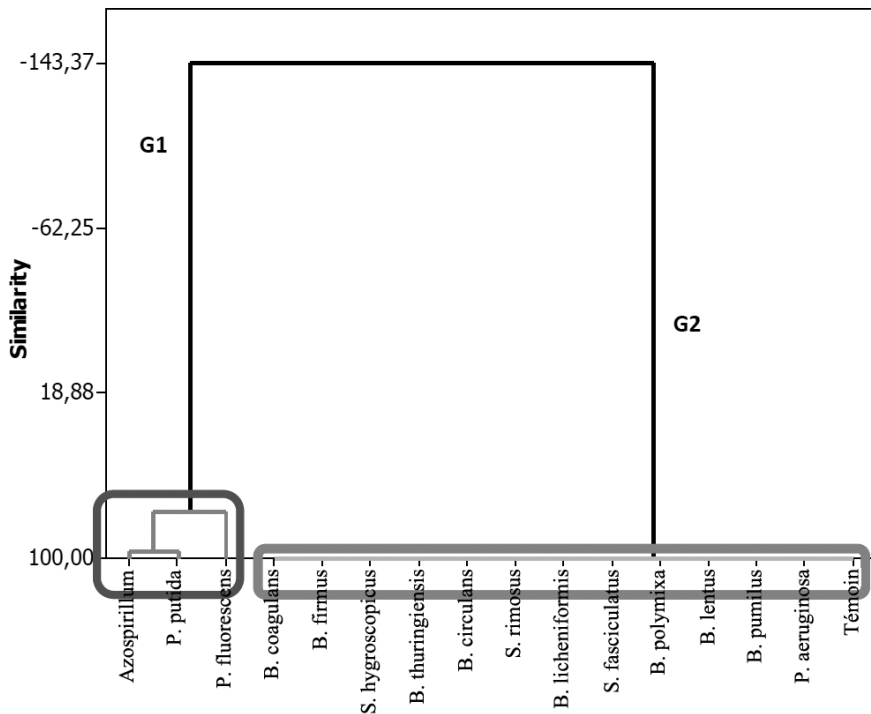
## 4. Discussion

Les rhizobactéries *A. lipoferum*, *P. fluorescens* et *P. putida* (G1) ont été les plus efficaces sur la croissance en hauteur des plants de maïs avec un gain d'environ 32 %. Les valeurs moyennes de hauteur induites par ces dernières dépassent de 8,25 % celles induites par les rhizobactéries *P. aeruginosa*, *B. coagulans*, *B. thuringiensis*, *B. pumilus*, *B. polymixa*, *B. lentus*, *B. circulans* et *B. firmus* toutes du groupe 2.

*Streptomyces hygroscopicus*, *S. fasciculatus*, *S. rimosus* et *B. licheniformis* n'ont pas eu d'effet particulier sur la hauteur des plants de maïs. Les valeurs de hauteur induites par celles-ci sont inférieures de 17,44 % à celles induites par les rhizobactéries du groupe 2. Ces résultats se rapprochent de ceux rapportés par Kang et al. (2010) qui mettent un accent particulier sur l'action positive de *Bacillus* spp., *Pseudomonas* spp. et *A. lipoferum* sur la croissance du maïs et du blé. Shaharoon et al. (2006) mentionnent, de façon particulière, l'efficacité de *Pseudomonas* spp. avec un accroissement significatif de la croissance du maïs lorsque les plantes de maïs reçoivent des quantités adéquates d'azote. Biari et al. (2008) en Iran ont signalé une augmentation hautement significative de la hauteur des plants inoculés par *A. lipoferum* DSM 1691, *A. brasilense* DSM 1690, *Azotobacter chroococcum* DSM2286. Ces auteurs ont expliqué ce gain de hauteur par l'absorption plus accrue par les plantes des nutriments que sont N, P, K, Fe, Zn, Mn et Cu. Rappelons que la manifestation d'effets PGPR par les rhizobactéries dépend des facteurs écologiques et édaphiques, de l'espèce végétale, de l'âge de la plante, de sa phase de développement et du type de sol (Werner, 2001).

Sur la biomasse aérienne fraîche produite par les plants de maïs sur sol ferralitique non dégradé au Sud du Bénin, les rhizobactéries *P. fluorescens* et *P. aeruginosa* ont induit les meilleurs effets avec des valeurs moyennes respectives de 562,5 et 435 g à 87 jours après semis. Ces valeurs dépassent de 59,57 % et 23,40 % la valeur moyenne





**Figure 3.** Dendrogramme du regroupement des 15 rhizobactéries en fonction des teneurs en azote, phosphore et potassium des plants de maïs.

obtenue au niveau des plants de maïs non inoculés. Ces résultats corroborent ceux publiés par Hernandez et al. (1995) qui affirmaient que les espèces *P. cepacia*, *P. fluorescens* et *S. aurantiacus* sont les plus efficaces pour promouvoir la croissance des plants sur les sols ferralitiques rouges de Cuba. Les plants de maïs inoculés avec les rhizobactéries *P. putida* et *B. circulans* ont eu les valeurs moyennes de biomasse aérienne fraîche similaires à celles des plants non inoculés. Ces résultats indiquent que dans les sols ferralitiques non dégradés au Sud du Bénin, celles-ci n'ont pas d'effet particulier sur la production de la biomasse aérienne des plants de maïs. En revanche, certaines rhizobactéries ont induit des effets négatifs sur la production de biomasse fraîche aérienne avec une valeur moyenne inférieure de 12,39 % à la valeur moyenne de biomasse fraîche obtenue au niveau des plants de maïs non inoculés. Celles-ci possèdent donc des effets inhibitrices sur les processus de régulation de la croissance des plants de maïs dans nos conditions expérimentales.

Pour ce qui est de la production de la biomasse souterraine, toutes les rhizobactéries avaient induit un meilleur développement du système racinaire allant jusqu'à 42,73 % (*P. putida*). Ces résultats corroborent ceux rapportés par Walker et al. (2011) qui, évaluant l'inoculation de trois souches de *Azospirillum* sur les profils de métabolites secondaires de deux différents cultivars de maïs, ont montré qu'après 10 jours de croissance dans un sol non stérile, la production de biomasse du maïs s'est accrue. Estes et al. (2004) affirment qu'une large gamme de rhizobactéries promotrices de la croissance végétale induit un effet bénéfique sur la croissance des plantes. Les auteurs cités expliquent cette influence positive par une meilleure germination des semences puis un meilleur développement postérieur des racines ;

ce qui induit l'augmentation de la capacité d'absorption des nutriments et de l'eau par les plantes. Contesto et al. (2008) rapportent que l'effet positif des rhizobactéries promotrices de la croissance végétale sur les plants est dû à la synthèse d'hormones végétales qui modifient favorablement le niveau des hormones endogènes.

Dans les sols ferralitiques non dégradés du Sud du Bénin, les rhizobactéries mises en étude à l'exception de *P. aeruginosa*, ont relativement amélioré le rendement en grain des plants de maïs. *P. fluorescens*, *P. putida* et *A. lipoferum* ont été les plus efficaces avec une nette augmentation respective de 109,72%, 54,37% et 20%. Ces taux d'amélioration dépassent largement ceux obtenus par Burr et al. (1978). En effet, en traitant les graines de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) avec des suspensions bactériennes de *Pseudomonas fluorescens* et de *P. putida*, les chercheurs cités ont obtenu une augmentation statistiquement significative du rendement variant de 14 à 33% dans 59 champs établis en Californie et en Idaho. Les résultats obtenus dans cette étude sont proches de ceux publiés par Kang et al. (2010) en ce qui concerne les effets de *P. fluorescens*, *A. lipoferum* et *Bacillus* spp., qui ont impacté positivement le rendement du maïs et du blé. De leur côté, en Iran, Biari et al. (2008) ont signalé une augmentation hautement significative du poids sec des grains de maïs lorsque les semences de maïs sont inoculées par *A. lipoferum*, *A. brasilense* et *A. chroococcum*. De même, Shaharoon et al. (2006) ont mentionné, de façon particulière, l'efficacité de *Pseudomonas* spp. avec un accroissement significatif du rendement du maïs lorsque les plantes de maïs reçoivent des quantités adéquates d'azote..

Les effets positifs observés sur la croissance et le rendement sont corroborés par l'amélioration des teneurs des plants en azote, phosphore et potassium. Les rhizobactéries auraient amélioré la disponibilité et l'assimilation des éléments minéraux majeurs. En effet, ces minéraux constituent les trois premiers éléments majeurs dont la plante a besoin en plus grandes quantités, pour sa bonne nutrition. C'est pourquoi, ils sont intégrés dans la composition de la majorité des engrais chimiques.

Biari et al. (2008) ont expliqué l'augmentation des rendements de maïs obtenus au niveau des plants inoculés avec les rhizobactéries par l'absorption plus accrue de l'azote, du phosphore, du potassium, du fer, du zinc, du manganèse et du cuivre. Les réponses positives observées dans cette étude peuvent aussi être dues à la compétition engagée entre les rhizobactéries. En effet, l'inoculum bactérien induit une modification de la communauté microbienne préexistante. Cette modification entraîne un surnombre du microorganisme inoculé qui conduirait à l'inhibition de certains microorganismes natifs, et donc une meilleure expression de ceux inoculés.

## 5. Conclusion

Cette étude a été menée sur les sols ferralitiques au Bénin, où ils sont prédominants. Les rhizobactéries précédemment isolées et évaluées dans cette étude ont variablement impacté la croissance, le rendement et l'état nutritionnel des plants de maïs. La hauteur des plants a été améliorée jusqu'à 32% de celle des plants non inoculés, tandis que le rendement a été amélioré à hauteur de 109,72%. Les teneurs en azote, phosphore et potassium ont été respectivement augmentées de 183,89%, 46,66% et de 176%. Ces résultats augurent la possibilité d'utiliser ces rhizobactéries comme des engrais biologiques pour l'accroissement de la productivité du maïs sur sols ferralitiques non dégradés au Sud du Bénin, où la baisse croissante de la fertilité des sols met constamment en péril les filières agricoles. En perspective, nous envisageons d'étendre cette évaluation à d'autres spéculations, affiner les doses d'inoculum à utiliser, évaluer les différentes combinaisons des rhizobactéries qui se sont révélées performantes et enfin installer une unité de production des dits inoculums.

## Bibliographie

- Adjanohoun A. et al., 2011. Caractérisation des rhizobactéries potentiellement promotrices de la croissance végétative du maïs dans différents agrosystèmes du Sud-Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **5**, 433-444.
- Ahmad F., Ahmad I., Khan M.S., 2006. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. *Microbiological Research*, **36**, 1-9.
- Ahmad F., Ahmad I., Khan M.S., 2008. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple growth promoting activities. *Microbiology*, **163**, 173-181.
- Badu-Apraku B., Yallou C.G., 2009. Registration of Striga-Resistant and Drought – Tolerant Tropical Early Maize Populations TZE-W Pop DT STR C4 and TZE-Y Pop DT STR C4. *Journal of Plant Research*, **3**, 86-90.
- Biari A., Gholami A., Rahmani H.A., 2008. Growth promotion and enhanced nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) by application of plant growth promoting rhizobacteria in arid region of Iran. *Journal of Biological Sciences*, **8**, 1015-1020.
- Bouraïma A., Raoudath O., 2011. *Étude diagnostic du centre de recherches agricoles du Sud-Bénin et possibilité de valorisation de la forêt relique de Niaouli pour la promotion de l'écotourisme*. Mémoire de licence, Université d'Abomey-Calavi, Bénin.
- Burr T.J., Schroth M.N., Suslow T., 1978. Increased potato yields by treatment of seed pieces with specific strains of *Pseudomonas fluorescens* and *P. putida*. *Phytopathology*, **68**, 1377-1383.
- Contesto C. et al., 2008. Effects of rhizobacterial ACC deaminase activity on *Arabidopsis* indicate that ethylene mediates local root responses to plant growth promoting rhizobacteria. *Plant Sciences*, **175**, 178–189.
- Couillerot O. et al., 2012. Comparison of prominent *Azospirillum* strains in *Azospirillum*–*Pseudomonas*–*Glomus* consortia for promotion of maize growth. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **97**(10), p. 4639-4649.
- Diels J., Aïhou K., Iwuafor E., Merckx R., Vanlauwe B., 2003. Évaluer les options pour le maintien du taux de carbone organique dans le sol en agriculture intensive en savane d'Afrique de l'Ouest à l'aide du modèle Rothamsted Carbone. In : Struif Bontkes T.E., Wopereis M.C.S. (eds). *Outils d'aide à la décision pour l'agriculture en Afrique Subsaharienne*. IFDC, Muscle Shoals, AL, USA/CTA, Wageningen, The Netherlands, pp. 151-161.
- Egamberdiyeva D., 2007. The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. *Applied Soil Ecology*, **36**, 184-189.
- Estes B.L., Enebak S.A., Chappelka A.H., 2004. Loblolly pine seedling growth after inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria and ozone exposure. *Canadian Journal Forest Research*, **34**, 1410-1416.
- Fatima Z. et al., 2009. Antifungal activity of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria isolates against *Rhizoctonia solani* in wheat. *African Journal of Biotechnology*, **8**, 219-225.
- Frommel M.I., Nowak J., Lazarovits G., 1993. Treatment of potato tubers with a growth promoting *Pseudomonas* sp.: Plant growth responses and bacterium distribution in the rhizosphere. *Plant and Soil*, **150**, 51-60.
- Gholami A., Shahsavani S., Nezarat S., 2009. The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Germination, Seedling Growth and Yield of Maize. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, **3**, 9-14.
- Glick B.R., Bashan Y., 1997. Genetic manipulation of plant growth-promoting bacteria to enhance biocontrol of phytopathogènes. *Biotechnology Advances*, **15**, 353-378.
- Hernandez A.N., Hernandez A., Heydrich M., 1995. Selección de rhizobacteria asociadas al cultivo del maíz. *Cultivos Tropicales*, **16**, 5-8.
- INRAB, 2006. *Contribution de la Recherche à la Promotion des Filières Agricoles Porteuses du Bénin 2007-2011*. Production Végétale (Tome 1) MAEP, Bénin. 150 p.

- Kang Y., Cheng J., Mei L., Yin S., 2010. Screening and identification of plant growth-promoting rhizobacteria. *Wei Sheng Wu Xue Bao*, **50**, 853-861.
- Kjeldahl J., 1883. A new method for the determination of nitrogen in organic matter. *Zeitschrift Analytische Chemie*, **22**, 366-82.
- Koo S.Y., Kyung-Suk C., 2009. Isolation and Characterization of a Plant Growth-Promoting Rhizobacterium, *Serratia* sp. SY5. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, **19**, 1431-1438.
- Loconon D., Floquet A., 1996. Étude des processus de l'adoption dans le cadre d'un programme de recherche pour le développement d'innovations agroforestières et de maintien de la fertilité au Bas- Bénin. Enquête en début du processus (fin d'année 1). Rapport n° 7. Cotonou, SFB 308, projet G5, 32 p.
- Pedraza R.O., Bellone C.H., Carrizo de Bellone S., Boa Sorte P.M.F., Teixeira K.R.S., 2009. *Azospirillum* inoculation and nitrogen fertilization effect on grain yield and on the diversity of endophytic bacteria in the phyllosphere of rice rainfed crop. *European Journal of Soil Biology*, **45**, 36-43.
- Saharan B.S., Nehra V., 2011. Plant Growth Promoting Rhizobacteria: A Critical Review. *Life Science and Medicine Research*, **21**, 1-30.
- Salantur A., Ozturk A., Akten S., 2006. Growth and yield response of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to inoculation with rhizobacteria. *Plant Soil and Environment*, **52**, 111-118.
- Shaharoona B., Arshad M., Zachir A.Z., Kalid A., 2006. Performance of *Pseudomonas* spp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. *Soil Biology and Biochemistry*, **38**(9), 2971-2975.
- Somers E., Vanderleyden J., Srinivasan M., 2004. Rhizosphere bacterial signalling: a love parade beneath our feet. *Critical Reviews in Microbiology*, **30**(4), 205-240.
- Thomas G.W., 1982. Exchangeable cations. In: Page A.L., Miller R.H., Keeney D. R. (eds). *Methods of soil Analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, 159-165.
- Walker V. et al., 2011. Host plant secondary metabolite profiling shows a complex, strain-dependent response of maize to plant growth-promoting rhizobacteria of the genus *Azospirillum*. *New Phytologist*, **189**, 494-506.
- Werner D., 2001. Organic signals between plants and microorganisms. In: Pinton R., Varanini Z., Nannipieri P. (eds). *The Rhizosphere. Biochemistry and Organic Substances at the Soil-Plant Interface*. Marcel Dekker, Inc. New-York, USA, p. 197-222.
- Yallou C.G., Aïhou K., Adjanooun A., Baco M.N., Sanni O.A., Amadou L., 2010. *Fiche technique : Répertoire des variétés de maïs vulgarisées au Bénin*. INRAB/MAEP, 32 p.

## Efficacité insecticide de la poudre de graines et de feuilles de *Melia azedarach* sur *Callosobruchus maculatus*, ravageurs de niébé (*Vigna unguiculata*) en stockage

Kosma Philippe, Institut Supérieur du Sahel, Cameroun, E-mail : philippekosma@yahoo.fr  
 Bakop Roméo, Institut Supérieur du Sahel, E-mail : bakopromeo@yahoo.fr  
 Djile Bouba, IRAD, Maroua, Cameroun, E-mail : djilebouba@yahoo.fr  
 Abdou Bouba Armand, Institut Supérieur du Sahel, E-mail : abdouarmand@yahoo.fr

### Résumé

Le niébé est une légumineuse qui participe à la sécurité alimentaire au Cameroun. Malgré son importance, plus de 30% de sa production est perdue entre la récolte et la consommation. Le principal ravageur de niébé stocké est *Callosobruchus maculatus*. La stratégie de lutte communément utilisée repose essentiellement sur les produits chimiques dont l'usage est toxique, onéreux et contraignant. Dans la recherche des alternatives à la lutte chimique, ce travail a été entrepris pour évaluer le potentiel insecticide de la poudre de graines et feuilles de *Melia azedarach*. Les essais de toxicité et d'efficacité insecticide de *M. azedarach* ont été effectués séparément sur des groupes de 20 bruches en utilisant 6 doses de la poudre de graines et de feuilles dans les bocaux contenant chacun 100 g de niébé. La mortalité des bruches et l'impact des poudres de *M. azedarach* ont été notées respectivement 96 h et 120 jours après infestation. La capacité germinative de graines traitées a été évaluée au début et à la fin de l'étude. Des doses de 2 et 8 g respectivement de poudre de graines et feuilles de *M. azedarach* appliquées sur 100 g de niébé ont conduit à une mortalité des bruches de 100%. À ces mêmes doses, les graines traitées n'ont pas été attaquées durant les 4 mois de stockage. Le taux de germination des graines de niébé au début et à la fin de l'expérience a été respectivement de 99,75 et 99,5%. Ainsi, la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach* peut être considérée comme un puissant bio-insecticide contre les parasites du niébé en stockage.

### Insecticide effect of the powder of the seeds and leaves of *Melia azedarach* on *Callosobruchus maculatus*, pests of cowpea (*Vigna unguiculata*) in storage

Cowpea is an important food source in Cameroon. Despite its importance, more than 30% of its production is lost between harvest and consumption. The main pest of stored cowpea is *Callosobruchus maculatus*. The control strategy is based essentially on the use of chemicals which are toxic, polluting and expensive. In the search for alternative to chemical control, this work has been undertaken to assess the insecticide potential of *Melia azedarach* seeds and leaves powder. The tests for toxicity and efficacy of *M. azedarach* were conducted on 20 seed weevils, using 6 doses of the powder of seeds applied in the jars containing 100 g of cowpeas. The pilot jars (T0) did not receive any treatments. *C. maculatus* mortality has been recorded 96 h after the infestation and the impact of powders has been measured 120 days after infestation. The germination capacity of the treated seeds was assessed at the beginning and at the end of the study. Two and 8 g of powder led to a mortality of 100%. At these same doses, the treated seeds have not been attacked during the following 4 months of storage. The germination rate of seeds of cowpea at the beginning and end of the experience were 99.75 (2 g) and 99.5% (8 g). The powders of seeds and leaves of *M. azedarach* have a potential as bio-insecticide in the control of insect pests of cowpea in storage.

# 1. Introduction

Le niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) est une légumineuse qui participe à la sécurité alimentaire au Cameroun et dans plusieurs pays d'Afrique centrale (Njouenkeu et al., 2010). Au Cameroun, sa production varie de 1,2 à 2 t/ha dans les stations de recherche et 300-500 kg/ha dans les champs paysans. En général, la plus grande partie de la production est réalisée dans la région de l'extrême-nord du pays. Dans cette partie du pays, le niébé est la deuxième plante la plus cultivée après l'arachide. La culture du niébé reste un atout pour la population du Cameroun et de l'extrême-Nord en particulier au regard de son importance alimentaire. Ses graines représentent une précieuse source de protéines végétales, de vitamines et de revenus pour l'homme, ainsi que de fourrage pour les animaux. Les feuilles juvéniles et les gousses immatures sont consommées sous forme de légume (Ouédraogo, 2003 ; Dudje et al., 2009).

Selon la FAO, entre 60 à 80% de la production de grains de niébé est stockée par les paysans en zones tropicales. Pendant la période de stockage, il y a une perte énorme de la production (Ngamo et al., 2007a ; 2007b). Ces pertes sont dues d'une part aux conditions et aux structures de stockage et d'autre part aux insectes ravageurs des stocks (Ngamo, Hance, 2007 ; Ngamo et al., 2007). Au Cameroun, plus de 30% de la production est perdue entre la récolte et la consommation. Cette proportion est plus forte dans la partie septentrionale du Cameroun du fait de la longue période de stockage (Ngamo, Hance, 2007). C'est ainsi qu'un tiers de ce qui est produit ne parvient jamais aux consommateurs.

Le principal insecte ravageur de niébé stocké est *Callosobruchus maculatus*. Il entraîne des pertes significatives allant jusqu'à 80% (Tapondjou et al., 2002). L'infestation du niébé par cet insecte débute au champ sur les gousses en cours de maturation ; la larve pénètre dans la gousse puis dans la graine où elle se nourrit. L'adulte émerge soit dans les cultures soit dans les greniers après la récolte. Les bruches perforent les grains de niébé en laissant plusieurs galeries, ce qui entraîne non seulement une réduction du poids sec mais également une diminution de la qualité des graines et de la viabilité des semences compromettant les propriétés organoleptiques et nutritionnelles de l'aliment (Ngamo et al., 2007a ; 2007b). Les dégâts causés par ces insectes peuvent occasionner une perte totale des graines stockées en quelques mois (Lienard, Seck, 1994).

Les difficultés liées au stockage ont poussé les agriculteurs à l'utilisation des insecticides chimiques de synthèse (Dudje et al., 2009). Pour une protection efficace des produits vivriers et des semences, les pesticides fréquemment utilisés sont les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates et les pyréthrinoides (Gwinner et al., 1996). L'intérêt que le paysan porte à l'utilisation des pesticides s'explique par sa facilité d'emploi, sa rapidité d'action et l'élimination presque totale des insectes y compris ceux utiles. Or, les insecticides chimiques de synthèse constituent un grand danger pour l'environnement et la santé humaine, et provoquent des cas d'apparition de résistance (Aubertot et al., 2005 ; Tabula et al., 2005 ; Javed et al., 2008 ; Park et al., 2003). Ils réduisent également la biodiversité et détruisent une grande partie des organismes utiles, tels que les décomposeurs qui participent à la construction de l'humus et aux cycles biogéochimiques (Provost et al., 2003 ; Glitho et al., 2008).

De nombreuses recherches sont menées sur l'utilisation des produits naturels et plus particulièrement sur les extraits des plantes ayant des propriétés insecticides et dont les effets indésirables n'ont pas été signalés chez l'homme (Isman, 2000). C'est ainsi que les huiles essentielles extraites des plantes ont été largement utilisées dans la lutte contre les ravageurs des stocks de grains (Regnault, Hamaoui, 1997 ; Prates et al., 1998 ; Tapondjou et al., 2002 ; Tapondjou et al., 2003 ; Ngamo et al., 2007a ; 2007b). Leurs propriétés insecticides, nématicides, larvicides et ovicides, stérilisantes, anti-appétentes et répulsives ont fait l'objet de plusieurs études (Ngamo et al., 2007 ; Kouninki, 2007 ; Ndomo et al., 2009 ; Kosma et al., 2011). Ces bio-insecticides d'origine botanique apparaissent comme une meilleure alternative de lutte propre contre les insectes (Ambang et al., 2005).



Le *Melia azedarach* est un arbre de la famille des Méliacées, il est originaire de l'Inde (Nardo et al., 1997). Cette plante est très répandue et naturalisée dans les régions tropicales et subtropicales. Elle est largement utilisée dans la pharmacologie traditionnelle et connue pour ses propriétés insecticide, fongique et médicinale (Kataria, 1994; Huang et al., 1995; Valladares et al., 1999; Carpinella et al., 2002). Les extraits méthanoliques des feuilles et des graines de *M. azedarach* ont été testés contre *Anopheles stephensi* (Nathan et al., 2006). Sur le continent africain, plus particulièrement en Algérie, la plante est utilisée comme tonique et antipyrétique. En Afrique du Sud, la plante a été utilisée pour le traitement de la lèpre et le soulagement des crises d'asthme (Oelrichs et al., 1983). Cependant, l'effet des poudres de graines et feuilles de *M. azedarach* vis-à-vis de *C. maculatus*, demeure inconnu. L'objectif principal de la présente étude est d'évaluer le potentiel insecticide de la poudre de graines et feuilles de *M. azedarach* contre *C. maculatus*, principal ravageur du niébé en stockage au Cameroun.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Variété de niébé

Cette étude a été réalisée avec un lot de graines d'une variété de niébé (Br 24 125), réputée très sensible aux attaques des bruches. Ces graines ont été triées, débarrassées des corps étrangers et des graines abîmées. Avant leur utilisation dans les différentes étapes de l'essai, les graines triées ont été mises au réfrigérateur pendant 24-48 h, à 4-5 °C pour éliminer les traces d'œufs ou de larves pouvant se trouver à la surface.

### 2.2. Bruche de niébé

Les bruches utilisées dans cette étude ont été collectées à partir d'un lot de graines de niébé achetées dans un magasin de l'IRAD de Maroua, à l'aide d'un aspirateur à bouche. Les insectes ont été placés à raison de 25 couples dans des bocaux d'un litre de volume et contenant 1 kg de niébé acheté au marché de Mesquine, et n'ayant pas été traité aux insecticides. Les ouvertures de ces bocaux ont été soigneusement recouvertes par du tissu de mousseline afin de permettre l'aération et d'éviter la sortie des insectes et toute autre contamination extérieure. Cette phase a duré 30 jours afin de permettre l'émergence des nouveaux adultes. Après cette opération, les graines de niébé contenues dans les différents bocaux ont été tamisées ; les bruches adultes ont été éliminées puis l'élevage a continué avec les niébés infestés par les œufs. Cette deuxième phase a duré 23 jours et les insectes obtenus, âgés de 3 jours, ont servi pour infester le niébé des différents traitements. L'ensemble de ces opérations d'élevage a été effectué au laboratoire à une température moyenne de  $32 \pm 3$  °C et d'humidité relative moyenne de  $51 \pm 7$  %.

### 2.3. Obtention de la poudre de graines et feuilles de *Melia azedarach*

Les feuilles fraîches et les fruits mûrs de *M. azedarach* ont été récoltés au mois de février 2012 à Makabai (Maroua/Cameroun), puis séchés à l'ombre pendant 6 jours. Par la suite, les fruits ont été décortiqués manuellement pour en extraire les graines. Les graines obtenues ont été séchées au laboratoire pendant 10 jours à une température moyenne de 31 °C puis broyées à l'aide d'un mortier. Les feuilles sont rendues sous forme de poudre par broyage dans un mortier, puis tamisées à l'aide d'un tamis de maille 0,5 mm. Après cette opération, les poudres de graines et de feuilles ont été stockées respectivement dans deux bocaux différents et rangés au laboratoire à l'obscurité pour éviter tout risque d'oxydation.



## 2.4. Dispositif expérimental

Au total, 64 bocaux ont été utilisés. Les différents bocaux ont été disposés en 4 lots de 16 bocaux et 4 répétitions pour chaque bio-insecticide. Les 2 premiers lots étaient destinés à l'étude de l'effet insecticide des poudres de *M. azedarach* et les 2 derniers à l'évaluation des dégâts causés par *C. maculatus* durant 120 jours. Les bocaux ont été maintenus sur la paille aux conditions de température de  $32 \pm 3^\circ\text{C}$  et d'humidité de  $51 \pm 7\%$  relevées chaque jour à l'aide d'un thermo-hygromètre placé à proximité des bocaux.

## 2.5. Infestation du niébé

100 g de graines conditionnées ont été pesées puis introduites dans les bocaux préalablement marqués T0 (témoin), G1, G2, G3 (graines) et F1, F2, F3 (feuilles). Ainsi, les poudres de graine ont été pesées à des masses respectivement de 1 ; 1,5 et 2 g et celles de feuille de 1 ; 4 et 8 g pour 100 g de niébé chacun et ont été introduites dans les bocaux. Les bocaux témoins (T0) n'ont pas reçu de traitement. Après pesage, 10 couples de bruches de 72 h d'âge ont été prélevés à l'aide d'un aspirateur et introduits dans chacun des bocaux. Ces bocaux ont ensuite été recouverts par les tissus de mousseline et scellés à l'aide des frondes élastiques afin d'éviter toute contamination extérieure. Tous les bocaux ont été infestés le même jour.

## 2.7. Tests de germinations

Deux tests de germination ont été effectués. Le 1<sup>er</sup> a été effectué au début de l'expérimentation, alors que le 2<sup>e</sup> test a été effectué sur les graines qui ont été en contact permanent avec les poudres bio-insecticides pendant 120 jours. Pour chaque test, 4 répétitions de 100 g de niébé chacune ont été effectuées.

## 2.8. Collecte des données

Après 96 h, les contenus des bocaux ont été observés pour déterminer la toxicité de la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach* en fonction des doses administrées. Pour cela, les bocaux ont été tamisés afin d'extraire les bruches adultes et ne laisser que les graines infestées. En même temps, les individus morts ont été dénombrés. A été considéré comme mort, un individu qui ne bougeait plus après plusieurs touchés des pattes et des antennes à l'aide d'une seringue ou aiguille.

Les données ont été mesurées de la manière suivante :

- 96 h après leur introduction dans les différents bocaux, la toxicité des différentes poudres bio-insecticides sur *C. maculatus* a été calculée selon la formule :

$$M_c = \frac{M - M_0}{M_0} \times 100$$

où :  $M_c$  est le taux de mortalité corrigée,  $M_i$  représente le nombre d'insectes morts dans les bocaux traités et  $M_0$  est le nombre d'insectes naturellement morts dans les bocaux témoins.

- l'estimation des dégâts a été calculée à partir d'un lot de 100 graines (N) que l'on sépare en graines saines et attaquées.

Le pourcentage d'attaque (A%) sera :

$$A(\%) = \frac{N_a}{N_s + N_a} \times 100$$

où :  $N_s$  est le nombre de graines saines et  $N_a$  représente le nombre de graines attaquées.

- par la suite, l'impact des poudres bio-insecticide sur les dégâts causés par *C. maculatus* a été mesuré après 120 jours. Pour ce qui est du taux de germination, il a été évalué avant et à la fin de l'expérimentation. Le taux de germination a été évalué par comptage des graines germées par rapport aux graines ensemencées selon la formule :

$$G \% = \frac{NGG}{NGE} \times 100$$

où : G% est le pourcentage de germination, NGG représente le nombre de graines germées et NGE est le nombre de graines ensemencées.

## 2.9. Analyses des données

Les données obtenues ont été soumises à une analyse de variance en utilisant le logiciel R et les moyennes des différents traitements ont été comparées à l'aide du test de Newman-Keuls au seuil de 5%.

## 3. Résultats

### 3.1. Évaluation de la toxicité de la poudre de graines et de feuilles de *Melia azedarach*

Au cours de l'évaluation de l'effet insecticide de la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach*, toutes les doses employées ont entraîné la mortalité de *C. maculatus*. Les différents taux de mortalité observés sont fonction de la dose administrée. Ainsi donc, des taux de mortalité de  $80 \pm 0,81$  ;  $85 \pm 0,8$  et 100% ont été observés après 96 h d'exposition de *C. maculatus* à la poudre de graine de *M. azedarach* à la dose de 1 ; 1,5 et 2 g par 100 g de niébé chacun respectivement (Tableau 1). Pour ce qui est de la poudre de feuilles, bien que les résultats obtenus ne présentent aucune différence significative ( $P < 0,05$ ) avec ceux enregistrés avec la graine, une légère baisse au niveau du taux de mortalité a été observée. En général, en fonction des doses et du nombre d'individus morts, la graine apparaît plus toxique vis-à-vis de *C. maculatus* que la feuille. Une différence significative ( $P < 0,05$ ) a été enregistrée entre les moyennes de mortalité obtenues dans les bocal traités à la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach* et celle des bocal témoin (Tableau 1).

**Tableau 1.** Évaluation de la toxicité de la poudre de graines et de feuilles de *Melia azedarach* sur *Callosobruchus maculatus*.

Traitements	Doses (g/100 g de niébé)	Taux moyen de mortalité (%) (écart-type)
F1	1	70a (0,81)
F2	4	80a (0,81)
F3	8	100a (0,81)
T0	0	2,5b (0,8)
G1	1	80a (0,81)
G2	1,5	85a (0,8)
G3	2	100a

Dans une même colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne présentent pas de différence significative selon le test de Newman-Keuls au seuil 5%. G : traitement à la poudre de graines de *M. azedarach*; F : traitement à la poudre de feuilles de *M. azedarach*; T0 : témoin.

### 3.2. Impact de la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach* sur les grains de niébé endommagés par *C. maculatus*

À l'issue de l'essai, les résultats obtenus montrent que dans les bocaux témoins  $76 \pm 18,95$  grains de niébé ont un nombre de trous  $\geq 2$  (Tableau 2). Cependant, dans les bocaux traités à la poudre de graines de *M. azedarach*, le nombre de trous était de  $9,25 \pm 11,52$ ;  $1 \pm 2,98$  et 0 % à la dose de 1 ; 1,5 et 2 g par 100 g de niébé respectivement. Pour les traitements à la poudre de feuilles de *M. azedarach*, il a été de  $35,7 \pm 11,52$ ;  $5,75 \pm 2,98$  et 0 % à la dose de 1 ; 4 et 8 g par 100 g de niébé chacun respectivement. On constate que les dégâts causés par le *C. maculatus* sont concentrés dans les bocaux témoins, montrant ainsi une différence significative ( $P < 0,05$ ) comparativement aux valeurs obtenues dans les bocaux traités à la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach* (Tableau 2).

**Tableau 2.** Impact de la poudre de graines et de feuilles de *Melia azedarach* sur les dégâts causés par *Callosobruchus maculatus*.

Traitements	Doses (g/100 g de niébé)	Graines endommagées (%)	Graines ayant plus de 2 trous (%)
F1	1	67 (18,56)	35,7 (11,52)
F2	4	24,25 (4,64)	5,75 (2,98)
F3	8	1,5 (1,29)	0
T0	0	96,75 (2,78)	76 (18,95)
G1	1	26 (10,9)	9,25 (11,52)
G2	1,5	7,5 (4,04)	1 (11,52)
G3	2	0	0

G : traitement à la poudre de graines de *M. azedarach* ; F : traitement à la poudre de feuilles de *M. azedarach* ; T0 : témoin.

En prélevant 100 g de grains de niébé au hasard dans chaque bocal, on constate que le taux moyen des graines endommagées varie en fonction des doses de la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach* appliquées (Tableau 2). Ainsi à la dose de 1 ; 1,5 et 2 g de la poudre de graine de *M. azedarach* par 100 g de niébé, on a enregistré  $26 \pm 10,9$ ;  $7,5 \pm 4,04$  et 0 % de grains endommagés respectivement. Pour les traitements à la poudre de feuilles, le taux moyen de grains endommagés est de  $67 \pm 18,56$ ;  $24,25 \pm 4,64$  et  $1,5 \pm 1,29$  % à la dose de 1 ; 4 et 8 g par 100 g de niébé chacun respectivement. Cependant, dans les bocaux témoins,  $96,75 \pm 2,78$  % des grains sont endommagés après 120 jours d'essai.

### 3.3. Impact de la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach* sur la germination

Le test de germination effectué au début de l'essai a donné un taux moyen de germination de 99,75 %. Lorsque les grains de niébé sont en contact direct avec la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach*, le taux de germination varie en fonction de la dose administrée. Ainsi dans les bocaux traités à la poudre de graines de *M. azedarach* à la dose de 1 ; 1,5 ; et 2 g par 100 g de niébé chacun, le taux de germination des grains de niébé est de 21,25 ; 96,5 ; 99,75 % respectivement. Dans les bocaux traités à la poudre de feuilles de *M. azedarach* à la dose de 1 ; 4 et 8 g par 100 g de niébé chacun, le taux de germination est de 6,5 ; 63 ; et 99,5 % respectivement. Par contre, dans les bocaux témoins (T0) où les insectes sont en contact direct avec les grains, le taux de germination est de 1,75 % (Tableau 3).

**Tableau 3.** Évaluation du taux de germination de grains de niébé au début et à la fin de l'essai.

Traitements	Doses	Taux de germination (%)	
	(g/100 g de niébé)	Début essai	Fin de l'essai
F1	1	99,75	6,5
F2	4		63
F3	8		99,5
T0	0		1,75
G1	1		21,25
G2	1,5		96,5
G3	2		99,75

G : traitement à la poudre de graines de *M. azedarach* ; F : traitement à la poudre de feuilles de *M. azedarach* ; T0 : témoin.

## 4. Discussion

Au Cameroun, les niébés sont des produits vivriers qui participent à la sécurité alimentaire. Cependant, les insectes *C. maculatus*, constituent l'une des principales contraintes à leur conservation (Lienard, Seck, 1994; Ngamo, Hance, 2007). Le présent travail révèle et met en évidence l'activité insecticide de la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach* dans la lutte contre *C. maculatus*. En effet, les potentialités des plantes pour la conservation des denrées stockées au Cameroun contre les insectes ont fait l'objet de plusieurs travaux (Tapondjou et al., 2002; Tapondjou et al., 2003; Ambang et al., 2005; Ngamo, Hance, 2007). Ces travaux se sont basés sur l'utilisation d'huiles essentielles, d'extraits ainsi que de poudres des plantes pour lutter contre les ravageurs des denrées en stockage (Tapondjou et al., 2002; Tapondjou et al., 2003; Ambang et al., 2005; Ngamo, Hance, 2007). Au cours de ce travail, il ressort que le taux de mortalité des bruches après 96 h augmente avec les doses de la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach*. Il atteint son optimum à la dose de 2 g/g pour la poudre de graines et 8 g/g lorsque la poudre de feuilles est utilisée. Ces résultats corroborent avec ceux obtenus par Ambang et al. (2005) dans leurs travaux sur les effets insecticides des extraits de graines du laurier jaune (*Thevetia peruviana* Pers) sur les charançons (*Sitophilus zeamais* Motsch), ravageur des maïs stockés. La mortalité des bruches serait due à l'activité biologique des triterpénoïdes et des limonoïdes que contient la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach*. En effet selon Carpinella et al. (2002) les extraits de *M. azedarach* contiennent des triterpénoïdes et des limonoïdes, or ceux-ci ont un effet antinutritionnel, inhibent la prise alimentaire et provoquent la mort et les malformations chez les futures générations de bruches. Dans notre étude, l'activité insecticide des poudres de graines et de feuilles de *M. azedarach* pourrait s'expliquer par leur pouvoir pénétrant et/ou la toxicité directe de leur composant triterpénoïde et limonoïde. De même, Mulla et Su (1999) ont montré dans leurs travaux que les triterpénoïdes, les alcaloïdes et les stéroïdes présentent une activité insecticide inhibant ainsi le développement des insectes. Le nombre de graines endommagées varie également en fonction des doses appliquées et du type de la poudre (feuille ou graine). En général, les bocalx traités à la poudre de graines de *M. azedarach* contiennent moins de grains endommagés que les bocalx traités à la poudre de feuilles de *M. azedarach*. Ceci serait dû au fait que le principe actif de *M. azedarach* serait plus concentré dans les graines que dans les feuilles. Aussi, on constate que l'augmentation des doses entraînerait une augmentation du principe actif ainsi, à la dose de 2 et 8 g de la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach*, aucune graine n'est endommagée. Plus le nombre de trous est  $\geq 2$ , plus il y a une perte de la qualité organoleptique de l'aliment, une perte de la valeur marchande et une réduction de taux de germination de la graine. Lienard et Seck (1994) ont montré que *C. maculatus* entraîne une diminution de la qualité des graines, de la viabilité des

semences et une perte totale du niébé si aucun traitement n'est effectué. De plus, Tchamou (1995) a montré qu'il existe une relation entre le nombre de trous et le pouvoir germinatif des grains de niébé. Concernant la germination, la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach* n'influence pas le taux de germination du grain de niébé et ceci corrobore les résultats obtenus par Stoll (1994) qui a montré que la capacité germinative du blé traité au lilas des Indes avant d'être mis en réserve, n'a pas été affecté lors du semis.

## 5. Conclusion

À l'issue de cette étude menée au laboratoire de l'IRAD de Maroua, section niébé, et dont l'objectif général était d'évaluer l'activité insecticide de la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach* dans la lutte contre *C. maculatus*, il ressort que ces poudres ont un excellent effet insecticide. En effet, les résultats obtenus au cours de ce travail montrent qu'à 2 et 8 g/g respectivement de la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach*, la mortalité des bruches a été de 100 % après 96 h d'exposition de *C. maculatus* à ces bio-insecticides. De plus, à ces mêmes doses, le taux de grains de niébé endommagés et le nombre de grains ayant un nombre de trous  $\geq 2$  sont relativement nuls après 4 mois de stockage. Ainsi, il apparaît clairement que la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach* empêche le développement des bruches et réduit également l'émergence des adultes de *C. maculatus*. Les tests de germination ont montré que la poudre de graines et de feuilles de *M. azedarach* n'ont aucun effet négatif sur le pouvoir germinatif du grain de niébé. Ainsi, les poudres de graines et de feuilles de *M. azedarach* peuvent être considérées comme d'excellents bio-insecticides que les paysans peuvent utiliser dans la lutte contre les insectes du niébé en stockage.

## Bibliographie

- Ambang Z., Ndongo B., Ngoh Dooh J.P., Djilé B., 2005. Effet des extraits des graines du laurier jaune (*Thevetia peruviana* Pers.) sur les charançons (*Sitophilus zeamais* Motsch.), ravageur des denrées stockées. *Biosciences Proceedings*, **11**, 57-63.
- Aubertot J.N. et al., 2005. *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux*. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref, France, 64 p.
- Carpinella M.C., Ferreyra D., Valladares G.R., Defago M.T., Palacios S.M., 2002. Potent limonoid insect antifeedant from *Melia azedarach*. *Bioscience Biotechnology Biochemistry*, **66**, 1731-1736.
- Dudge I.Y., Omoigui L.O., Ekeleme F., Kamara A.Y., Ajeibe H., 2009. *Production du niébé en Afrique de l'Ouest. Guide du paysan*. IITA, Ibadan, 20 p.
- Glitho L.A., Ketoh K.G., Nuto P.Y., Amevoin S.K., Huignard L., 2008. Approches non toxiques et non polluantes pour le contrôle des populations d'insectes nuisibles en Afrique du Centre et de l'Ouest. In : Regnault R.C., Philogène B.J.R., Vincent C. (eds). *Biopesticide d'origine Végétale*. Lavoisier, TEC & DOC, Paris, 550 p.
- Gwinner J., Hamisch R., Muck O., 1996. *Manuel sur la manutention et la conservation des grains après récolte*. GTZ, Eschborn, Germany, 368 p.
- Huang R.C. et al., 1995. Insect antifeedant property of limonoids from Okinawan and Chinese *Melia azedarach* and from Chinese *Melia toosendan*. *Bioscience Biotechnology Biochemistry*, **59**, 1755-1757.

- Isman M.B., 2000. Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, **19**, 603-608.
- Javed N. et al., 2008. Efficacy of neem (*Azadirachta indica*) formulations on biology of root-knot nematodes (*Meloidogyne javanica*) on tomato. *Crop Protection*, **27**, 36-43.
- Kataria H.C., 1994. Medicinal plant *Melia azedarach* used in leprosy control. *Oriental Journal of Chemistry*, **10**, 178-180.
- Kosma P. et al., 2011. Assessment of nematicidal properties and phytochemical screening of neem seed formulations using *Radopholus similis*, parasitic nematode of plantain in Cameroon. *Crop Protection*, **30**, 733-738.
- Kouninki H., 2007. *Études des potentialités d'utilisation d'huiles essentielles pour le contrôle de deux insectes ravageurs des grains Callosobruchus chinensis (Coleoptera : Bruchidae) et Sitophilus zeamais (Coleoptera : Curculionidae) au Nord Cameroun*. Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, Belgique.
- Liénard V., Seck D., 1994. Revue des méthodes de lutte contre *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae). Ravageur des grains de niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) en Afrique tropicale. *Insect Science and its Application*, **15**(3), 301-311.
- Mulla M.S., Su T., 1999. Activity of biological effects of neem products against Arthropods of medical and veterinary importance. *Journal of the American Mosquito Control Association*, **15**(2), 133-152.
- Nathan S.S. et al., 2006. Efficacy of *Melia azedarach* extract on the malarial vector *Anopheles stephensi* Liston (Diptera: Culicidae). *Bioresource Technology*, **97**, 1316-1323.
- Ndomo A.F., Tapondjou A.L., Tendonkeng F., Tchouanguep F.M., 2009. Évaluation des propriétés insecticides des feuilles de *Callistemon viminalis* (Myrtaceae) contre les adultes d'*Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera : Bruchidae). *Tropicicultura*, **27**, 137-143.
- Ngamo L.S.T., Hance T., 2007. Diversité des ravageurs des denrées et méthodes alternatives de lutte en milieu tropical. *Tropicicultura*, **25**, 215-220.
- Ngamo T.S.L. et al., 2007. Use of essential oil aromatic plants as protectant of grains during storage. *Agricultural Journal*, **2**, 204-209.
- Ngamo T.S.L. et al., 2007. Current post harvest practices to avoid insect attacks on stored grains in Northern Cameroon. *Agricultural Journal*, **2**, 242-247.
- Njounkeu R. et al., 2010. *Le maïs et le niébé dans la sécurité alimentaire urbaine des savanes d'Afrique centrale*. ISDA, Montpellier, France, 17 p. www.isda2012.net
- Oelrichs P.B., Hill M.W., Vallely P., Macleod J., Molinsky J.K., 1983. Toxic tetranortriterpenes of the fruit of *Melia azedarach*. *Phytochemistry*, **22**, 531-534.
- Ouédraogo S., 2003. Impact économique des variétés améliorées du niébé sur les revenus des exploitations agricoles du plateau central du Burkina Faso. *Tropicicultura*, **21**, 204-210.
- Park I.K., Lee S.G., Choi D.H., 2003. Actives of constituents identified in the essential oil from leaves of chamaecyparis obtuse against *Callosobruchus chinensis* (L.) and *Sitophilus oryzae* (L.). *Journal of Stored Products Research*, **39**, 375-384.
- Prates H.T. et al., 1998. Insecticidal activity of monoterpenes against *Rhyzopertha dominica* (F.) and *Tribolium castaneum* (Herbst). *Journal of Stored Products Research*, **34**(4), 243-249.
- Provost C., Coderre D., Lucas É., Chouinard G., Bostanian N.J., 2003. Impact d'une dose sub létale de lambda-cyhalothrine sur les prédateurs intraguildes d'acariens phytophages en vergers de pommiers. *Phytoprotection*, **84**, 105-113.
- Regnault R.C., Hamraoui A., 1997. Lutte contre les insectes phytophages par les plantes aromatiques et leur molécules allelochimiques. *Acta Botanica Gallica*, **144**, 401-412.

- Tabula T.K., Madoungou P., Bayonne L., 2005. Effets de l'iboga (*Tabernanthe iboga* Baillon) sur les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.) parasites de tomate. *Tropicultura*, **23**(1), 6-10.
- Tapondjou L.A., Adle C., Bouda H., Fontem D.A., 2002. Efficacy of powder and essential oil from *Chenopodium ambrosioides* leaves as post harvest grain protectant against six-stored product beetles. *Journal of Stored Products Research*, **38**, 395-402.
- Tapondjou L.A., Adlerb C., Bouda H., Fontem D.A., 2003. Bio-efficacité des poudres et des huiles essentielles des feuilles de *Chenopodium ambrosioides* et *Eucalyptus saligna* à l'égard de la bruche du niébé, *Callosobruchus maculatus* Fab. (Coleoptera : Bruchidae). *Cahiers Agricultures*, **12**, 401-407.
- Tchamou K.S., 1995. *Impact des hyménoptères parasitoïdes (Dimarnus basilius R. et Eupelmus vuilleti Craw) sur les populations de Callosobruchus maculatus F. dans le système de stockage de niébé (Vigna unguiculata L. Walp.)*. Mémoire de D.E.A. de Biologie de développement. Université de Lomé, Togo, 54 p.
- Valladares G.R., Ferreyra D., Defago M.T., Carpinella M.C., Palacios S.M., 1999. Effects of *Melia azedarach* on *Triatoma infestans*. *Fitoterapia*, **70**, 421-424.



## De la gratuité à la marchandisation des semences d'igname au Bénin : quelles implications sur la sécurité alimentaire ?

Baco Mohamed Nasser, Université de Parakou, Bénin, E-mail : nasserbaco@yahoo.fr  
 Moumouni Moussa Ismaïl, Université de Parakou, Bénin, E-mail : mmismailfr@yahoo.fr  
 Saka Abdou Kadiri K., Université de Parakou, Bénin, E-mail : lafbio@yahoo.fr  
 Egah Janvier, Université de Parakou, Bénin, E-mail : egahjanvier@yahoo.fr  
 Dossou Romuald A., Institut National de Recherche Agricole du Bénin (INRAB),  
 E-mail : radossou2002@yahoo.f  
 Assiedu Ernest Assah, CORAF/WECARD, Bénin, E-mail : e.asiedu@coraf.org

### Résumé

Peut-on dire que les transformations en cours sur le système semencier igname conduiront à un système semencier viable et à la sécurité alimentaire ? La présente étude a été menée dans différentes localités du Bénin pour répondre à la question. Une méthodologie associant des techniques quantitatives et qualitatives a été adoptée. Deux types d'échantillons ont été constitués (approche boule de neige et celle par sondage). L'analyse de l'offre et de la demande des semences et de l'implication sur la sécurité alimentaire a été faite. Le déficit semencier en quantité et en qualité est la principale raison qui empêche les producteurs de couvrir les superficies prévisionnelles agricoles. Les formes spécifiques traditionnelles de circulation et d'acquisition des semences (don, vente et troc) se relaient progressivement par l'achat de semences. Les exploitations accédant aux semences par achat finissent très tardivement leur stock en igname, contrairement à celles ne les achetant pas.

### From free to commercial seedlings of yam in Benin: what consequences on food security?

This study aims to analyze the implication of yam seed system transformation on sustainable seed system and food security in Benin. It has been conducted in four districts. A methodology combining quantitative and qualitative techniques was been adopted. The snowball and other survey approaches have been used to make the samples. The seed deficit characterized by the inability of farms to access to yam seeds in quantity and quality, is the main reason which prevent the producers to cover the areas expected. The gift, the sale and the exchange are the main circulation and acquisition forms of seeds used by the producers. The agricultural exploitations who buy the yam seeds are less vulnerable to food insecurity. This result suggests that the new seed system based on minifragments and market can contribute to ensure food safety in Benin.

## 1. Introduction

La semence étant en amont de la production agricole, sa qualité est l'un des facteurs déterminants du rendement de toute culture et sa disponibilité est la condition préalable à un bon démarrage de la campagne agricole (Niangado, Kébé, 2002). Le déséquilibre de production agricole constaté dans les pays en développement est surtout dû au fait que les semences dont les paysans ont besoin pour assurer des emblavures normales ne sont pas toujours disponibles en quantité suffisante, en qualité requise et au moment voulu (Vernooy, 2003). On parle ainsi d'insécurité semencière (Almekinders, 2001).

Sur l'igname encore plus que sur les autres cultures vivrières, la problématique semencière se pose avec beaucoup d'acuité. L'igname a été pendant longtemps oubliée par la recherche et les services ; aucune action n'avait jamais été menée pour améliorer son système

semencier (Baco et al., 2007). Pourtant, l'igname (*Dioscorea cayenensis-rotundata*) représente la principale source énergétique des populations d'Afrique au Sud du Sahara en général et du Bénin en particulier. Au Bénin, l'igname joue un rôle prépondérant, soit comme culture de subsistance, soit comme culture commerciale, soit comme culture à caractère cultuel, ou encore comme culture englobant ces différentes fonctions (Okoli, Onwueme, 1986 ; Hahn et al., 1987 ; Baco et al., 2008). L'igname est ancrée dans les habitudes alimentaires et constitue un marqueur d'identité de certaines populations (Bricas, Attaie, 1998).

Depuis quelques années, cette plante séculaire se modernise et se caractérise par un début de marchandisation des semences et des tubercules, et par son entrée dans les habitudes alimentaires des urbains. Bricas (1992) note que la consommation des plats à base d'igname est en vogue dans les villes du sud Bénin. Pour Sodjinou et al. (2009), l'igname pilée occupe une très bonne position parmi les produits consommés par les populations, quel que soit leur niveau de prospérité. Elle s'est insérée dans les habitudes alimentaires des ménages urbains et sa consommation dépasse désormais les aires géographiques traditionnelles. La modernisation de la culture de l'igname, la marchandisation de ses semences et produits (tubercules) peuvent-elles s'opérer sans affecter sa production et sa contribution à la sécurité alimentaire des populations ?

Depuis respectivement sept et trois ans, le Programme de Développement des Plantes à Racines et Tubercules (PDRT) et le Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles (CORAF) ont, dans une perspective d'assurer la sécurité alimentaire et de garantir des revenus subséquents aux producteurs, engagé la promotion de la production de semences d'igname par l'utilisation de la technique de mini-fragments. Les projets initiés visent à formaliser et à professionnaliser la production de semences d'igname. Ils veulent faire de la production semencière d'igname, une activité à part entière, économiquement rentable pour les entrepreneurs agricoles qui s'y consacrent et capable de couvrir la demande des paysans. Des entrepreneurs agricoles pilotes ont été retenus dans les trois grandes zones agro-écologiques productrices d'igname. Ces entrepreneurs pilotes ont reçu un appui technique et financier pour installer progressivement des unités de production de semences d'igname. Il est prévu avec le temps une augmentation des entreprises productrices de semences d'igname de façon à couvrir progressivement la demande semencière au niveau national et même sous-régional. Les projets sus-indiqués voudraient faire évoluer le système semencier actuel, de l'informel vers le formel. Ainsi, la semence d'igname, d'un statut social est en voie de passer à un statut marchand.

L'enjeu pour la recherche est donc de comprendre les règles actuelles d'accès aux semences d'igname pour améliorer les performances du système et permettre aux agriculteurs de disposer de semences en quantité suffisante, en temps opportun et en qualité adéquate. Il est question de comprendre l'implication du nouveau marché de semence d'igname en cours de formalisation au Bénin. Qui en sont les principaux acteurs ? Quel schéma de distribution préconiser ? Quelle est l'implication du nouveau système semencier en cours de formalisation sur la sécurité alimentaire des populations ?

Nous chercherons à savoir si la réorganisation actuelle, telle qu'inspirée par des acteurs comme le CORAF, peut conduire à un système semencier viable et garant de la sécurité alimentaire. Qu'y a-t-il de commun entre les modes de transfert de semences de paysan à paysan et les modes actuels de distribution des semences qui se mettent en place ?

## 2. Cadre analytique de l'étude

La sécurité alimentaire est assurée lorsqu'un ménage a l'accès sûr et constant à une nourriture suffisante pour mener une vie en santé (Maxwell, Frankenberger, 1992) ; ce qui

repose sur la quantité de nourriture dont dispose le ménage et qu'il consomme. La sécurité alimentaire fait davantage allusion à l'autonomie alimentaire (*food self reliance*) (Janin, 2010). L'autonomie alimentaire peut être assurée par autoproduction, par achats, par transferts ou par aide alimentaire. Selon Janin (2008), cette autonomie alimentaire prend en compte l'autoconsommation et les termes de l'échange pour les acteurs s'approvisionnant sur le marché ainsi que la redistribution de vivres ou de revenus (transferts sociaux), la gestion des greniers, réserves et stocks de sécurité ou de régulation. Dans le cas d'espèce, il s'agit de la production d'igname destinée à la consommation familiale sur toute l'année sans rupture alimentaire. La sécurité alimentaire d'une unité de production traduit la disponibilité et l'accessibilité des produits alimentaires à tout moment sur toute une année. Quatre dimensions permettent de cerner son contenu : la disponibilité, la stabilité, l'accessibilité et la consommation (Kouassi, 2004). Dans cette étude, cette conception a été prise en compte en ce sens, il a été question de voir les périodes pendant lesquelles les ménages sont en rupture alimentaire. Selon les perceptions des paysans, et en se basant sur l'importance de l'igname pour les populations béninoises, la fin des stocks d'igname est un indicateur de la fin dans l'exploitation agricole. Dans cette perspective, des exploitations agricoles ont été suivies durant toute l'année pour savoir si elles ont enregistré un déficit alimentaire à un moment donné de l'année et quelle est la période de fin de stock.

Pour ressortir l'implication de la gratuité et de la marchandisation sur la sécurité alimentaire des ménages enquêtés, l'approche semi-expérimentale '*avec-sans*' a été utilisée (Cochrane, Rubin, 1973 ; Bassi, 1984 ; Yabi, 2004). Elle tient compte des caractéristiques socio-économiques des individus composant le même groupe ayant opté pour l'achat ou la gratuité des semences d'igname. Les deux groupes ont été constitués. Le premier groupe est constitué des exploitations n'achetant pas les semences tandis que le second regroupe les exploitations achetant les semences d'igname. Ces deux groupes ont été comparés selon les périodes de disponibilité alimentaires existant dans la zone d'étude.

### 3. Méthodologie de recherche

#### 3.1. Choix des zones d'investigation

Cette étude a été menée dans les localités où le projet semenciers d'igname est essentiellement exécuté. Il s'agit des trois premiers départements producteurs d'igname au plan national (Borgou, Donga, Collines). Dans chacun des départements, la commune la plus grande productrice a été choisie par les projets pour la promotion du système semencier igname. Il s'agit de l'installation d'entreprises semencières pour soutenir et nourrir les réseaux traditionnels d'approvisionnement en semences à travers la technique de mini- fragments. Dans les communes, les promoteurs d'entreprises semencières se sont installés dans les villages de leur convenance. Ces derniers ont été retenus pour les enquêtes.

#### 3.2. Choix des unités de recherche

Au total, les neuf semenciers potentiels de la zone, organisés par le PDRT et le CORAF, ont été systématiquement pris en compte dans la présente étude. Outre le choix systématique des entrepreneurs agricoles semenciers, une méthodologie associant des techniques qualitatives a été adoptée. L'approche d'échantillonnage « boule de neige » utilisée par Subedi et al. (2003) pour étudier la structure des réseaux informels de semences de riz au Népal puis par Delaunay et al. (2008) sur les échanges traditionnels de semences de sorgho, a consisté dans cette étude à agrandir la taille de l'échantillon jusqu'au point où les nouvelles informations s'épuisent. Cette approche a permis d'atteindre le point de saturation des informations. Les informations collectées avec cette approche concernent surtout l'historique du système semencier dans le

village; les formes d'obtention des semences, les raisons des changements observés dans le système semencier, les informations liées aux causes et aux impacts de la marchandisation des semences d'igname, et les informations liées à la production d'igname, les fonctions et représentations sociales des semences d'ignames, etc.

L'analyse de l'implication de la modernisation du système semencier a conduit à suivre 22 exploitations (11 achetant et 11 n'achetant pas les semences d'igname) sur une durée d'un an, de façon à identifier celles dont les récoltes couvrent les besoins annuels de leurs membres.

Deux groupes d'échantillons ont été constitués. Le premier, le plus important concerne les paysans obtenant leurs semences à travers le système paysan. Ces derniers puisent dans leur récolte antérieure pour ensemençer les nouveaux champs d'ignames. En cas de déficit semencier ils développent d'autres stratégies d'acquisition de semences comme le don, l'échange et surtout l'achat. Le second échantillon est composé d'entrepreneurs agricoles pilotes, identifiés par le CORAF et le PDRT. Ces derniers reçoivent ou ont reçu l'appui technique, matériel et financier des projets pour démarrer une expérience pilote dans la production et la commercialisation des semences d'igname. La technique de production retenue est la mini-fragmentation encore connue sous le nom de minisett.

Dans cette étude, la demande en semences d'igname d'un producteur, est la quantité de semences qu'il faut pour couvrir la superficie qu'il espère cultiver. Aussi, l'offre en semence est la quantité de semences utilisées pour couvrir la superficie réellement cultivée en igname. Il faut noter que l'offre et la demande (Figure 1) en semences sont évaluées par ménage puis rapportées au niveau communal.

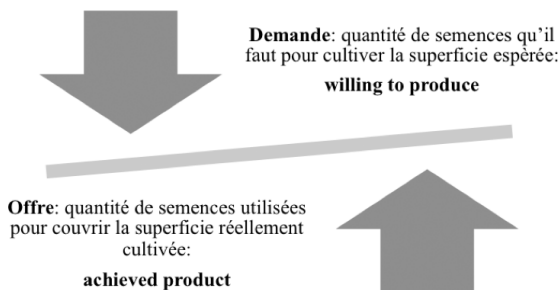


Figure 1. Caractéristique de l'offre et de la demande de semences d'igname.

### 3.3. Données collectées, outils de collecte et d'analyse

Les données primaires collectées sont relatives à l'évolution des superficies d'igname prévues et réalisées durant les trois dernières années; à la quantité de semences nécessaires aux emblavures; aux causes probables empêchant le paysan de réaliser les prévisions faites en début de campagne; à la proportion de ménages ayant un champ d'igname par commune; au mode de gestion de la production; à l'évolution des prix des semences et de l'igname au cours d'une campagne agricole; à la quantité totale de semences produites, achetées et acquises par don ou par héritage; à la couverture ou non des besoins alimentaires sur toute l'année. Ces données ont été collectées à partir des interviews semi-structurées et non structurées. Par ailleurs, les périodes de disponibilité alimentaire dans la zone d'étude ont été identifiées lors des *focus groups*.

Les outils d'analyse qualitative ont été utilisés. Les outils qualitatifs utilisés sont relatifs aux analyses du discours des enquêtés. Les discours des enquêtés ont été transcrits de façon fidèle et ont été utilisés pour l'interprétation des résultats obtenus. Les analyses de perceptions telles que celles relatives à la non-atteinte des prévisions de campagne ont été analysées en faisant la moyenne des valeurs affectées par les exploitations enquêtées. Ces dernières sont obtenues en répartissant 10 points sur les différentes perceptions selon leur importance. Des

fréquences, des moyennes ont été calculées pour apprécier l'évolution des superficies allouées à l'igname, la part de semences réservée au semis et celle destinée à la vente et la proportion des ménages selon qu'ils achètent les semences ou non.

## 4. Résultats et discussion

### 4.1. Évolution des prévisions et des réalisations des superficies d'igname durant les trois dernières années

Le producteur agricole, comme tout entrepreneur, se fixe un objectif en début de toute échéance. Cet objectif peut être entièrement ou partiellement réalisé. Le tableau ci-dessous réalisé à partir des résultats d'enquêtes paysannes, présente les prévisions et les réalisations en superficie d'igname au cours de la campagne 2011.

**Tableau 1.** Superficies moyennes (en milliers d'ha) prévues et réalisées.

Paramètres	Dassa	Djougou	N'dali	Tchaourou	Moyenne pays
Superficie moyenne prévue (× 1 000 ha)	1,53	2,54	2,36	2,72	2,29
Superficie moyenne réalisée (× 1 000 ha)	1,23	1,9	2,04	2,31	2,87
Écart de superficie (× 1 000 ha)	0,30	0,64	0,32	0,41	0,42

De l'analyse de ce tableau, il ressort que dans toutes les communes de l'étude, les superficies d'igname prévues par les producteurs enquêtés ne sont jamais réalisées. À l'échelle nationale, en moyenne, l'écart entre les prévisions et les réalisations est quasiment égal à 0,5 ha. La commune de Djougou a le plus grand écart alors que Dassa a l'écart le plus faible. Cette situation pourrait s'expliquer par plusieurs raisons.

L'examen des contraintes à l'atteinte de prévisions de campagne révèle que plusieurs facteurs justifient l'écart entre les prévisions et les réalisations de production (Tableau 2). Ces facteurs varient d'une localité à l'autre.

**Tableau 2.** Perceptions paysannes des facteurs expliquant la non-atteinte des prévisions de campagne.

	Main-d'œuvre (%)	Déficit semencier (%)	Ressource financier (%)	Terre fertile (%)	Climat et autre (%)	Total
Tchaourou	18	30	28	12	12	100
N'dali	20	32	21	8	19	100
Djougou	17	38	12	10	23	100
Dassa	22	26	20	15	17	100
Moyenne	19	32	20	11	18	100

Le déficit semencier, qui se caractérise par l'impossibilité des exploitations à avoir accès aux semences en quantité et en qualité, est la principale raison qui empêche les producteurs de couvrir les superficies prévues dans les objectifs de campagne. Le producteur Bio Adam du village de Goro dans la commune de Tchaourou affirmait à ce propos : «*dans les maisons c'est kpouna que tout le monde préfère pour faire son igname pilée. Au marché, c'est aussi elle qui vous procure le plus d'argent aux producteurs.[...] pourtant nous avons des difficultés à trouver des semences de cette variété. Je n'arrive jamais à couvrir la superficie que je réserve à cette igname*».

Ces propos sont représentatifs des discours tenus par la grande partie des producteurs pour justifier les contraintes liées aux semences d'igname. Nonobstant les caractéristiques

très appréciées d'une variété, tant par le marché que par les ménages, sa production peut être freinée par l'inaccessibilité aux semences en quantité et en qualité suffisantes.

Outre le déficit semencier, la non-atteinte des prévisions de production s'explique aussi par le changement climatique et le manque de ressources financières pour faire face aux charges de production. L'évocation du climat pourrait être révélatrice de l'impossibilité des variétés traditionnelles pour faire face au contexte changeant et de la nécessité de mettre à la disposition des ignamiculteurs du matériel amélioré de plantation.

## 4.2. Formes actuelles de circulation et d'acquisition de semences d'igname

Les formes spécifiques de circulation et d'acquisition des variétés sont le don, l'achat et le troc. Selon le dictionnaire Petit Robert, le terme « don » signifie « action d'abandonner gratuitement et volontairement à quelqu'un la propriété ou la jouissance de quelque chose ». Le don de variétés représente donc une offre de variétés sans contre-partie exigible. Dans la circulation de variétés entre les paysans, le don vient en deuxième position et représente 30 % des échanges. Les achats de semenceaux d'ignames se font, mais dans de moindres proportions (13 %). Les trocs ou échanges variétaux interviennent entre producteurs souhaitant l'un et l'autre avoir des variétés particulières détenues par le voisin.

### 4.2.1. Don de variétés

Il témoigne une marque de solidarité vis-à-vis des producteurs qui, pour diverses raisons (maladies, calamités, voyage, etc.), ont perdu leur matériel végétal. En milieu Bariba, le don de variétés est aussi un signe de reconnaissance ou une marque de relations d'alliances. Les dons de variétés proviennent essentiellement des amis (51 %) puis du parrain (14 %), des voisins de champ (13 %), des collatéraux (12 %) et du père (10 %). Dans la tradition africaine, le don demeure un mécanisme fondamental de régulation des liens sociaux ordinaires et de ceux relatifs à la parenté (Nicolas, 1986). Quel que soit le lien entre le donneur et le receveur, la quantité donnée n'excède pas 60 semences, équivalant à la plantation d'une ligne de buttes d'igname.

Le parrain est, dans la société béninoise, celui qui a assuré l'éducation et l'initiation à la vie d'homme d'un enfant. Le système familial, dans la plupart des communautés béninoises, est de type patrilinéaire. Les fils héritent de leur père avec la particularité que les frères cadets du défunt héritent d'une légère part. Chez les Batonnou par exemple, les enfants de sexe masculin sont confiés aux oncles maternels qui se chargent de leur éducation et de leur initiation à la vie d'adulte. Les prétendants au trône royal étaient pris en charge par leurs oncles maternels qui avaient l'obligation morale de les doter en moyens matériels, moraux et spirituels. Le jeune Batombu profite ainsi pendant l'édification de sa personnalité d'un parrainage de ses oncles. Cette double éducation se répercute à tous les niveaux de sa vie quotidienne y compris dans l'agriculture avec l'obtention de variétés d'igname tant de son parrain (lien maternel) que de son géniteur lors de son détachement de l'unité familiale.

La conception qui consiste à abandonner une ou plusieurs variétés à quelqu'un sans rien recevoir de lui en retour n'est pas toujours la logique qui fonde les dons. En tant que forme d'échange, le don induit le « contre-don », qui est un don de retour en vue de renforcer les liens. Seignobos (1992) remarque que dans le nord du Cameroun, on ne remet jamais gratuitement un pied d'igname. Rapportant l'exemple du manioc en Amazonie, Empereur et al. (1998), constatent que le don permet au paysan donateur de renforcer sa position sociale. Dans le nord du Bénin, le don de variétés de certains autochtones vers des migrants crée des relations de dépendance, les premiers tendant à placer les nouveaux venus sous leur coupe. Les dons de variétés entre paysans appellent aussi des contre-dons indirects qui peuvent être la participation du receveur aux activités de défrichement, de labour, de buttage, de plantation... dans le champ



du donneur. Après récolte, le receveur peut aussi donner en contrepartie non exigible quelques tubercules d'igname de la variété reçue pour témoigner de sa reconnaissance. Une autre forme de contre-don est observée entre les agriculteurs Bariba et les agro-éleveurs peuls, qui en contrepartie du don de semences, se voient confier les animaux de trait du donneur Bariba pour leur engraissement. Cette pratique de don et contre-don permet de maintenir et de consolider les relations traditionnelles qui existent entre ces deux communautés.

#### 4.2.2. Échanges inter-paysans de variétés ou troc de variétés

Dans un travail similaire sur le manioc, Emperaire et al. (1998) remarquent que les échanges se font entre individus bien déterminés sur le plan social et qui empruntent des réseaux déjà constitués. Les échanges portent aussi bien sur les variétés tardives que précoces, selon des bases qui diffèrent d'un village à l'autre. À Kinnou Kpanou et à Goro, dans la commune de Tchaourou par exemple, un sac de semences de *tandoua* (variétés précoces), vaut deux sacs d'*assounou* (variétés tardives). Cette règle d'échange variétal s'explique par le fait que dans ces villages de Tchaourou, les variétés tardives sont produites à grande échelle, rendant un accès aux semences des variétés précoces plus difficile. Dans les autres villages, la quantité cédée est proportionnelle à celle reçue. L'analyse de l'empreinte spatiale (réalisée à travers les échanges de variétés entre producteurs en considérant l'espace social et l'espace géographique) révèle que les échanges variétaux sont des pratiques de proximité qui s'effectuent surtout entre paysans d'un même village (70 % des cas), moyennement entre villages (25 %) et rarement entre villages transfrontaliers (5 %). Dans une étude similaire sur le taro au Vanuatu, Caillon et Lanouguere-Bruneau (2005) montrent que les échanges de variétés se font surtout entre paysans de la même famille dans le même village. En Amazonie brésilienne par contre, les variétés de manioc échangées peuvent venir de plusieurs centaines de kilomètres (Brésil, Colombie, Venezuela) pour se greffer au stock initial (Pinton, Emperaire, 2001 ; Pinton, 2002). Les échanges montrent l'existence d'une forte perméabilité culturelle et matérielle entre les différents groupes familiaux, ethniques et géographiques.

Cette analyse des formes spécifiques de circulation des variétés révèle donc que la semence végétale est à la fois une semence du capital culturel, économique, social, et symbolique. Une fois acquise, elle permet au paysan d'améliorer ses connaissances et les potentialités économiques de son système de production agricole, de renforcer sa position et son influence dans le réseau social.

#### 4.2.3. Achat de semences d'igname

Il n'y a pas de marché à proprement parler pour les semences dans toutes les localités du pays. Le développement de marché d'igname, phénomène récent, se fait du Sud vers le Nord. Dans le centre Bénin, le marché de Glazoué est révélateur de ce dynamisme signalé sur la commercialisation des semences. En remontant plus au Nord, on note un marché embryonnaire qui se développe dans la zone de Tchaourou et une absence de marché physique pour les semences d'igname dans la commune de N'dali. Dans cette commune, les rares ventes se font au champ. Il existe dans tous les villages, des paysans qui sont relativement connus comme vendeurs de semences. Ces derniers sont généralement des paysans cultivant les plus grandes superficies du village.

Le prix des semences d'igname à l'instar des ignames de consommation varie sur les marchés selon les périodes. La vente de semences se fait dans des sacs de 50 kg, en tas, par butte, et par ligne de buttes. Les deux premières formes de vente sont courantes dans les marchés par contre les deux dernières se font souvent au champ (vente sur pied).

Un semenceau est acheté en moyenne à 50 FCFA ; ce qui revient à investir pour les 6 000 buttes en moyenne que compte un hectare, 300 000 FCFA. Ce montant est nettement supérieur (20 fois plus) aux coûts des semences de la céréale la plus consommée dans le pays



(le maïs). La conséquence de cette situation est le bouleversement des habitudes alimentaires dans les zones consommatrices de l'igname. Avant les années 1970, la consommation du maïs était un acte déshonorant pour le paysan Bariba du nord du Bénin qui assurait la totalité de ses besoins alimentaires à partir de l'igname et accessoirement du sorgho (Dumont, 1997). Depuis une quarantaine d'années, le taux d'accroissement des superficies emblavées en sorgho a baissé, de même que sa consommation, alors que celle du maïs est devenue importante.

En général, les paysans acheteurs sont ceux qui veulent accroître le nombre de tubercules d'une variété qu'il possède déjà. Lorsqu'il s'agit d'un producteur qui cherche des semences pour démarrer un champ d'igname (cas de nouveaux migrants, de paysans ayant abandonné l'agriculture pendant un certains temps pour diverses raisons...), il reçoit en général gratuitement le matériel de culture.

#### 4.2.4. Assurer la sécurité alimentaire des ménages par l'achat de semences d'igname

Les douze mois du calendrier bariba se répartissent en quatre périodes (Tableau 3) qui coïncident plus ou moins à des mois du calendrier romain.

**Tableau 3:** Période à laquelle les stocks d'igname sont épuisés dans les exploitations achetant et n'achetant pas les semences d'igname.

Mois		Saison	Caractéristiques	% des exploitations	
Bariba	Romain			Achetant les semences	N'achetant pas les semences
Don Kourou	Mars	Sèche	Rareté relative	08	18
Don Donron	Avril				
Sourou Kan	Mai				
Gani	Juin	Pluvieuse	« Vaches maigres »	46	55
Gani Ban-nà	Juillet				
Binin-Binin	Août		Transition	46	27
Binin-Kou-nà	Septembre				
Binin Yan-non	Octobre				
Kouro-Toko	Novembre	Sèche	« Vaches grasses »	0	0
Nonbokorou	Décembre				
Dan-Kasso	Janvier				
Nonn Koussiarou	Février				

Les exploitations en rupture de stock dans cette phase sont les plus précaires car elles devront survivre 3 à 4 mois sans igname dans leurs greniers. Ayensu et Coursey (1972) soulignent l'obligation sociale pour le Bariba à disposer de l'igname dans son ménage. À ce sujet le paysan Guerra d'un village déclarait lors de l'un de nos entretiens :

**Guerra : sans igname à la maison, tu deviens la risée du village :** « [...] Dans ce village, comme dans tout village bariba, si tu es batonnu authentique, tu dois avoir ton champ d'igname et l'igname ne doit pas finir dans ton grenier. Dans le cas échéant, on dit que tu es un affamé. La nouvelle se répand comme une trainée de poudre à travers tout le village et tout le monde te traite de paresseux. Certaines familles peuvent refuser d'accorder à ta descendance la main de leur fille. Elle ira mourir de faim, déduisent-elles ».

Sur la base du disponible alimentaire dans les exploitations, nous avons défini quatre périodes :

– La période de « rareté relative »

Cette période de relative rareté correspond à la fin de la saison sèche et à la préparation des nouveaux champs. C'est la période où les pics de consommation alimentaire sont les

plus élevés dans les exploitations agricoles du fait de l'énergie dépensée. L'épuisement des stocks ne permet pas aux exploitants concernés de faire convenablement face aux obligations calendaires. Au cours des ans, ils finissent par se retrouver, avec de petites superficies, incapables de couvrir les besoins annuels, et finalement se résignent à la fatalité. Dans la société Bariba, ils sont appelés *sanro bou* qui veut dire à la limite de la mendicité. Leur philosophie de vie étant « adviennne que pourra ! », les *sanro bou* sont exposés à l'insécurité alimentaire chronique. Les exploitations n'achetant pas les semences d'igname sont plus concernées (18 %) par cette forme d'insécurité alimentaire que celles achetant les semences (8 %).

– La période de « vaches maigres »

La période des « vaches maigres » va du début de la saison des pluies à la plantation des cultures. Pendant cette période, 46 % de ceux achetant les semences et 55 % des non-acheteurs finissent leurs stocks d'igname. Contrairement aux *sanro bou*, les ménages ne traverseront qu'un mois environ de disette. Aussi, ont-ils pu assurer la période de préparation des champs avec les derniers tubercules d'igname. Désigné sous le nom de *boin boin*, ces paysans sont considérés comme ceux dont l'effort est élevé mais qui ne sont pas « rassasiés ».

– La période de transition

Respectivement 46 % et 27 % des acheteurs et des non-acheteurs de semences d'igname épuisent leur récolte à la fin de cette période. C'est la période de démarrage des récoltes de la nouvelle saison agricole. Pour les exploitations de ce groupe, il n'existe pas de rupture entre la fin des stocks d'igname de la précédente campagne et le début de récolte des ignames de la nouvelle campagne. Contrairement aux deux premiers groupes, les paysans de ce groupe parviennent à passer les périodes de pénurie sans grande difficulté. Ils sont appelés les *nomma birou toura* ou littéralement ceux dont « les mains parviennent à se croiser au dos ». Ces exploitations sont en totale sécurité alimentaire. Près de la moitié (46 %) des exploitations qui achètent les semences d'igname sont dans cette catégorie des *nomma birou toura*.

– La période de « vaches grasses »

Elle correspond à la période de pleine récolte et de début de saison sèche. Aucune des exploitations étudiées ne se trouve menacée au cours de cette période de constitution des stocks, et l'ébauche de leur utilisation ne s'observe que dans quelques rares cas. Les entretiens sur le terrain révèlent que certains ménages peuvent conduire leur stock de la campagne précédente jusqu'à cette période. Mais les interdits culturels empêchent de garder deux greniers d'igname de différentes années, ce qui serait source de malheur pour le contrevenant.

Ces quatre périodes sont regroupées par les Bariba en deux : (i) le *sonssaréro* pour désigner la période de rareté et le *woubourou* pour désigner la période d'abondance. Au total 73 % des exploitations n'achetant pas les semences finissent leur stock en igname pendant le *woubourou* contre 54 % pour celles qui achètent les semences.

## 5. Conclusion

Le système semencier en cours d'édification contrairement au système traditionnel s'occupant seulement de la production des semences, se structure autour d'une multitude d'acteurs qui au fur et mesure s'adonnent non seulement à la production des semences, mais aussi à leur commercialisation. Progressivement, les systèmes traditionnels et modernes qui caractérisent l'ignamiculture béninoise évoluent vers des spécificités très caractéristiques. Ils sont alimentés par des semences provenant de diverses sources. Les dons, les échanges, l'héritage, les prestations de service et surtout la récolte précédente, sont les principales

sources d'alimentation en semences pour le système traditionnel ou paysan. Par contre, seul l'achat de semences mères alimente le système moderne.

L'évaluation de l'offre et la demande de semences permet de révéler qu'il existe un déficit dans toutes les communes productrices d'igname. Les implications de ce déficit sont la non-atteinte des prévisions de campagne, ce qui se traduit par la faible production et l'aggravation de l'insécurité alimentaire des paysans. La technique mini-fragmentation se positionne comme une alternative potentielle pour réduire le déficit.

Le meilleur niveau de sécurité alimentaire noté chez les exploitations qui achètent les semences, comparé à celui de celles qui n'en achètent pas, révèle la nécessité de promouvoir le nouveau système semencier en cours d'édification et qui vise la marchandisation des semences d'igname.

## Remerciements

Nous tenons à remercier le Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles (CORAF) et l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), qui dans le cadre du projet «Promotion of improved yam miniset technology to improve productivity and reduce excessive use of food yam for planting in Ghana, Nigeria, Togo and Benin» ont soutenu matériellement et financièrement cette recherche.

## Bibliographie

- Almekinders L.C., 2001. Impingement syndrome. *Clinics in Sports Medicine*, **20**(3), 491-504.
- Ayensu E.S., Coursey D.G., 1972. Guinea yams. The botany, ethnobotany, use and possible future of yams in West Africa. *Economic Botany*, **26**(4), 301-318.
- Baco M.N., Biao G., Pinton F., Lescures J.P., 2007. Les savoirs paysans traditionnels conservent-ils encore l'agro-biodiversité au Bénin? *Biotechnology, Agronomy, Society, Environment*, **11**, 201-210.
- Baco M.N. et al., 2008. Évaluation des pratiques de gestion de la diversité du niébé (*Vigna unguiculata*) : une tentative méthodologique expérimentée au Bénin. *Cahiers Agricultures*, **17**, 183-188.
- Bassi L., 1984. Estimating the effects of training Program with Nonrandom Selection. *Review of Economics and Statistics*, **66**, 36-43.
- Bricas N., 1992. L'évolution des styles alimentaires. In : Bosc P.M., Dolle V., Garin P., Yung J.M. (eds). *Le développement agricole au Sahel. Tome 1 : milieux et défis*. CIRAD, Montpellier, France, **17**, p. 179-209.
- Bricas N., Attaie N., 1998. La consommation alimentaire des ignames : synthèse des connaissances et enjeux de la recherche. In : Berthaud J., Bricas N., Marchaud J.L. (eds). *L'igname, plante séculaire et culture d'avenir. Actes du séminaire international CIRAD-INRA-ORSTOM-CORAF. 3-6 juin 1997, Montpellier, France*, p. 21-30.
- Caillon S., Lanouguere-Bruneau V., 2005. Gestion de l'agrobiodiversité dans un village de Vanua Lava (Vanuatu) : stratégies de sélection et enjeux sociaux. *Journal de la Société des Océanistes*, **1**, 120-121.
- Cochrane W., Rubin P.K., 1973. Controlling bias in observational studies. *Sankhya*, **35**, 417-446.
- Delaunay S., Tescar R.P., Oualbego A., Brocke Vom K., Lançon J., 2008. La culture du coton ne bouleverse pas les échanges traditionnels de semences de sorgho. *Cahiers Agricultures*, **17**(2), 189-194.
- Dumont R., 1997. L'igname dans l'agriculture traditionnelle ouest-africaine. In : Berthaud J., Bricas N., Marchaud J.L. (eds). *L'igname, plante séculaire et culture d'avenir. Actes du séminaire international CIRAD-INRA-ORSTOM-CORAF. 3-6 juin 1997, Montpellier, France*, p. 71-76.
- Empeaire L., Pinton F., Second G., 1998. Gestion dynamique de la diversité variétale du manioc en Amazonie du nord-ouest. *Nature, Sciences et Sociétés*, **6**(2), 27-42.

- Hahn S.K., Adiedu S.O., Akoroda M.O., Otoo J.A., 1987. Yam production and its future prospects. *Outlook on Agriculture*, **16**, p. 105-110.
- Janin P., 2008. Analyse spatio-temporelle de la vulnérabilité alimentaire. *Nutrition, Alimentation, Sociétés*, **1**, 1-15.
- Janin P., 2010. La lutte contre l'insécurité alimentaire au Sahel : permanence des questionnements et évolution des approches. *Cahiers Agricultures*, **19**, 177-82.
- Kouassi B., 2004. Les besoins d'informations pour une meilleure prise de décision sur la sécurité alimentaire et nutritionnelle. In : *Séminaire organisé par Le Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA) à Maputo au Mozambique du 8 au 12 Novembre 2004 sur le thème : « Rôle des Outils d'Information dans la Sécurité Alimentaire »*, 43 p.
- Maxwell S., Frankenberger T., 1992. *Household food security: Concepts, indicators, measurements: A technical review*. IFAD/UNICEF, Rome.
- Niangado O., Kebe D., 2002. Enjeux des DPI pour la recherche agricole et la filière des semences en Afrique de l'ouest et du centre. In : *Commerce, Propriété Intellectuelle et développement durable vis de l'Afrique. Documents présentés au Dialogue régional de Dakar, organisé les 30 & 31 juillet 2002, par ICTSD, ENDA Tiers Monde et Solagral, ICTSD. Series: Intellectual Property Rights and Sustainable Development N° 3*, p. 127-141.
- Nicolas G., 1986. *Don rituel et échange marchand dans une société sahélienne*. Institut d'Ethnologie, Paris, 282 p.
- Okoli O., Onwueme I., 1986. L'igname et la crise alimentaire en Afrique. In : Terry E.R., Akoroda M.O., Arene O.B. (eds). *Plantes-racines tropicales : les plantes-racines et la crise alimentaire en Afrique. Compte rendu du 3ème symposium triennal de l'ISTRC-AB, 17 au 23 Août 1986, Nigeria*. IRDC, Ottawa, Canada, p. 46-52.
- Pinton F., Emperaire L., 2001. Le manioc en Amazonie brésilienne : diversité variétale et marché. *Genetics Selection Evolution*, **33**, 491-512.
- Pinton F., 2002. Manioc et biodiversité : exploration des voies d'un nouveau partenariat. *Nature, Science et Société*, **10**(2), 18-30.
- Seignobos C., 1992. L'igname dans les monts Mandara (nord-Cameroun). *Genève-Afrique*, **30**, 78-96.
- Sodjinou E., Agli C., Adegbola P.Y., 2009. Consommation et préférence des produits d'igname par les ménages urbains de Cotonou et de Porto-Novo, au Bénin. In : Nkamleu N., Annang D., Baco M.N. (eds). *Securing livelihood through yams. Proceedings of a technical workshop on progress in yam research for development in west and central Africa held in Accra, Ghana, 11-13 september 2007*.
- Subedi P., Chaudhary A., Baniya B.K., 2003. Who maintains crop genetic diversity and how? *Culture and Agriculture*, **2**, 41-50.
- Vernooy R., 2003. *Un focus : les semences du monde. L'amélioration participative des plantes*. CRDI, Canada, 120 p.
- Yabi A.J., 2004. Agricultural Projects and Sustainable Development of Rural Areas in Benin: Impact Assessment, Participation and Adoption Decisions. In : Doppler W., Bauer S. (eds). *Farming and Rural System Economics*. Margraf Verlag, Weikersheim, Germany, 135 p.



## **Évaluation des effets du sida (*Sida cordifolia*) sur deux variétés de coton (*Gossypium hirsutum*) au Tchad en 2008-2009**

Nekouam Ndomian, Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement,  
E-mail : nnekouam@yahoo.com

### **Résumé**

Le cotonnier, *Gossypium hirsutum* L., une des principales cultures de rente au Tchad, est très attaqué par des mauvaises herbes comme le sida (*Sida cordifolia*). Ainsi, un essai *Sida cordifolia* sur cotonnier a été réalisé durant la campagne 2008-2009 pour compléter ceux de 2006-2007 et 2007-2008. Il a été réalisé à la Station de Bébédjia et à la Ferme de Moussafoyo, avec le même objectif : évaluer l'incidence et la sévérité de *Sida cordifolia* sur le cotonnier. Il a porté sur deux variétés de cotonnier (A51 et STAMF) avec et sans sida. Les variétés A51 et STAMF sont les deux variétés actuellement vulgarisées au Tchad, respectivement à l'Ouest et à l'Est de la zone cotonnière. Cette communication rentre dans le thème intitulé «Les résultats de la recherche sur les solutions disponibles ou en perspective – sur les plans technique, organisationnel et institutionnel – pour accroître durablement les productions vivrières en Afrique. Les propositions pour améliorer la contribution de la Recherche africaine dans la proposition de solutions nouvelles et adaptées». Les dispositifs expérimentaux ont été les blocs de Fisher avec quatre traitements et cinq répétitions. Les observations sur le sida ont porté sur le comptage des plants de sida. Celles sur le cotonnier ont porté sur : le comptage des poquets germés, l'évaluation de la vigueur des plantules, l'inventaire des pestes, la date de 50 % floraison, le comptage des capsules par plante, le poids de coton graine, le poids de fibre et le poids de graines. Les pertes moyennes de rendements des variétés de coton A51 et STAMF dues au sida, à la Station de Bébédjia et à la Ferme Moussafoyo, ont varié de 0 à 45 % pour le nombre des capsules par plante et de -2 à 37 % pour le poids de coton graine. À Bébédjia, elles ont été de 19 % pour le poids de la fibre et 31 % pour le poids des graines. La variété A51 a été plus attaquée par des chenilles carpophages (*Helicoverpa armigera*) et surtout par des chenilles phyllophages (*Haritalodes derogata*) par rapport à STAMF. Les trois années d'expérimentation (2006-2009) ont effectivement permis de quantifier les pertes de rendements du coton dues au sida. Ces résultats ont ouvert des perspectives de lutte contre l'adventice *Sida cordifolia* sur cotonnier. En effet, après cette évaluation, un essai de lutte intégrée contre *Sida cordifolia* en culture cotonnière a été réalisé et les résultats pourraient faire l'objet d'une autre communication.

### **Evaluation of sida (*Sida cordifolia*) effects on two cotton (*Gossypium hirsutum*) varieties in Chad in 2008-2009**

The cotton, *Gossypium hirsutum* L., one of main cash crops in Chad, is attacked by weeds like sida (*Sida cordifolia*). Thus, a trial of *Sida cordifolia* on cotton wood was carried out during cropping season 2008-2009 to complete those of 2006-2007 and 2007-2008. It was carried out at Bebedjia Station and at Moussafoyo Farm, with the same objective: to evaluate incidence and severity of *Sida cordifolia* on cotton wood. It was based on two cotton wood varieties (A51 and STAMF) with and without sida. The varieties A51 and STAMF are the two varieties in extension in Chad, respectively in West and East of cotton zone. This communication is for the theme titled «Research results for available or future solutions – in terms of techniques, organisations and institutions – to enhance sustainably crop productions in Africa. Proposals for improving the contribution of African research in proposals of new and adapted solutions.» Experimental designs were Fisher blocks with four treatments and five replications. Sida observations were based on sida plant count. Those on cotton were based on: germinated hole count, seedling vigour evaluation, pest survey, 50% flowering date, capsule per plant count, cotton seed weight, fibre weight and seed weight. Average yield losses of cotton varieties A51 and STAMF due to sida at Bebedjia Station and at Moussafoyo Farm varied from 0 to 45% for number of capsules per plant and from -2 to 37% for

weight of cotton seed. At Bebedjia, they were 19% for cotton fibre and 31% for cotton seed. Variety A51 was more attacked by capsule eater caterpillars (*Helicoverpa armigera*) and particularly by leaf eater caterpillars (*Haritalodes derogata*) than STAMF. Three-year experiments (2006-2009) have effectively allowed quantifying cotton yield losses due to sida. These results opened perspectives to the control of the weed *Sida cordifolia* on cotton. In fact, after this evaluation, a trial of integrated pest control management against *Sida cordifolia* in cotton culture was carried out and results could be for another communication.

## 1. Introduction

Le coton, *Gossypium hirsutum* L., fait partie des principales cultures de rente au Tchad (Ministère des affaires étrangères, 2006). Il est très attaqué par des pestes tels les insectes et les mauvaises herbes (Bedingam, Ngartoubam, 2006 ; Ngartoubam et al., 2007 ; Nekouam, 2007 ; 2009 ; Naitormbaide et al., 2008). Parmi les mauvaises herbes attaquant le coton il y a le sida, *Sida cordifolia* L., une espèce appartenant au genre *Sida* et à la famille Malvaceae (Berhaut, 1967). Durant la campagne agricole 2005-2006, une société cotonnière tchadienne appelée «Cotontchad» a observé à la Ferme de Békamba que les champs de cotonniers infestés de l'adventice *S. cordifolia* avaient une réduction de développement. Elle a demandé à la Station de Bébédjia d'expliquer ce phénomène et d'en proposer des solutions.

Avant de proposer des solutions à ce problème de *Sida* sur cotonnier, un travail de diagnostic s'avérait nécessaire. Ce travail de diagnostic a été fait durant les campagnes agricoles 2006-2007 et 2007-2008 à la Ferme de Békamba. L'expérimentation de la campagne agricole 2008-2009 (la dernière avant d'arriver aux méthodes de lutte) a été réalisée à la Station de Bébédjia et à la Ferme de Moussafoyo, pour compléter les travaux antérieurs.

L'objectif a été d'évaluer l'incidence et la sévérité de *Sida cordifolia* sur le cotonnier.

## 2. Matériel et méthodes

L'essai d'évaluation des effets du sida (*Sida cordifolia*) sur cotonnier (*Gossypium hirsutum*) a porté sur deux variétés de coton (A51 et STAMF) avec et sans sida. Les parcelles avec sida (Figure 1) ont été des parcelles naturellement infestées de cette mauvaise herbe. Les variétés A51 et STAMF sont les deux variétés actuellement vulgarisées au Tchad, respectivement à l'Ouest et à l'Est de la zone cotonnière. Les sites d'expérimentation ont été localisés dans la zone soudanienne d'isohyète 1 200 mm, avec des sols sableux-argileux et avec une moyenne de température ambiante de 30-35 °C. Les dispositifs expérimentaux ont été les blocs de Fisher avec : 4 traitements, 5 répétitions, écartements de semis 1 m × 0,30 m, parcelle élémentaire 6 lignes de 10 m, parcelle utile 4 lignes de 10 m ou 40 m<sup>2</sup> (4 × 1 m × 10 m) et démariage à 2 plants par poquet.

Les observations sur le sida ont porté sur le comptage des plants de sida toutes les deux semaines dès sa première date d'apparition. Les observations sur le coton ont porté sur : le comptage des poquets germés, l'évaluation de la vigueur des plantules selon l'échelle 1-5 où 1 = Excellent et 5 = Mauvais, l'inventaire des pestes, la date de 50 % floraison, le comptage des capsules par plante, le poids de coton graine, le poids de la fibre et le poids de graines. Les pertes de rendement du coton dues au sida (P) ont été calculées par la formule suivante :

$$P = (\text{Rendement sans sida} - \text{Rendement avec sida}) \times 100 / \text{Rendement sans sida}.$$





**Figure 1.** Un plant de sida (*Sida cordifolia* L.) sur cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.). Photo N. Nekouam.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Résultats généraux

Pour la campagne agricole 2008-2009, l'essai sida sur cotonnier a été prévu sur cinq sites (Station de Bébédjia et Fermes de Deli, Moussafoyo, Békao et Békamba), mais non implanté dans deux (Békao et Békamba), mal implanté dans un (Deli), bien implanté dans deux (Bébédjia et Moussafoyo) et bien suivi dans un (Bébédjia).

L'essai n'a pas été implanté à la Ferme de Békao faute de *S. cordifolia*. Il n'a pas été implanté à la Ferme de Békamba faute d'entente entre l'ITRAD (Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement) et la Cotontchad (devenue actuellement Cotontchad Société Nouvelle) sous laquelle est placée cette Ferme. Il a été mal implanté à la Ferme de Deli parce qu'il ne l'a pas été dans un site infesté de *S. cordifolia*.

Les résultats de l'essai sida sur cotonnier à la Station de Bébédjia et à la Ferme de Moussafoyo durant la campagne 2008-2009 sont présentés au tableau 1. Selon les analyses de variances, la plupart des différences observées au niveau de chaque variable par site n'ont pas été significatives. Les différences observées au niveau du pourcentage des poquets germés et du poids de coton graine ont été significatives à 1 % à la Ferme de Moussafoyo et celles au niveau de la vigueur des plantules de cotonnier à 5 % à la Station de Bébédjia. La variété A51 a été plus attaquée par des chenilles carpophages (*Helicoverpa armigera*) et surtout par des chenilles phyllophages (*Haritalodes derogata*) par rapport à STAMF.

**Tableau 1.** Résultats de l'essai sida du coton à la Station de Bébédjia (A) et à la Ferme de Moussafoyo (B) en 2008-2009.

Traitement	% poquets germés		Vigueur plantules coton		Nombre plants sida		Nombre capsules par plante		Poids coton graine (g)		Poids fibre (g)		Poids graines (g)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
A51 avec sida	73	90	4	3	97	1	6	8	1350	5180	720	1940	840	3140
STAMF avec sida	71	87	4	4	27	4	5	6	1440	6900	680	2520	1060	3860
A51 sans sida	74	92	2	2	-	-	10	7	2160	5600	840	2160	1400	3280
STAMF sans sida	60	80	3	4	-	-	10	7	2240	6240	880	2340	1360	3460
Moyenne	70	87	3	3	62	3	8	7	1798	5980	780	2240	1165	3435
S	12,7	5,6	1,1	1,1	-	-	3,9	1,4	93,4	1173,2	450,3	527,6	550,9	558,5
CV (%)	18	06	37	37	-	-	49	20	52	20	58	24	47	16
Test F	NS	**	*	NS	-	-	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS
PPDS <sub>5%</sub>	-	3	1	-	-	-	-	-	-	880	-	-	-	-

NB : NS = non significatif; \* = significatif à 5 %; \*\* = significatif à 1 %.

### 3.2. Pertes de rendements du cotonnier dues au sida

Les pertes de rendements des variétés de coton A51 et STAMF dues au sida à la Station de Bébédjia et dans la Ferme Moussafoyo sont présentées au tableau 2. En moyenne, elles ont varié de : -9 à -4 % pour le pourcentage des poquets germés ; -67 à -25 % pour la vigueur des plantules de cotonnier ; 0 à 45 % pour le nombre des capsules par plante et de -2 à 37 % pour le poids de coton graine.

À Bébédjia, les pertes dues au sida ont été de 19 % en moyenne pour le poids de fibre et 31 % pour le poids des graines. Ce qui n'est pas du tout bon pour les cotonculteurs. Les pertes de rendements en poquets germés et en poids de coton graine de la variété A51 ont été supérieures à celles de STAMF, dans tous les deux sites.

Les deux années d'expérimentation à la Ferme Cotontchad de Békamba (2006-2008) et une année à la Station de Bébédjia et à la Ferme de Moussafoyo (2008-2009) ont effectivement permis de quantifier les pertes de rendements du coton dues au sida. Cette adventice a donc été une réelle contrainte biotique du cotonnier.

Après ces deux années d'évaluation, un essai de lutte intégrée contre *Sida cordifolia* en culture cotonnière a été réalisé et les résultats pourraient faire l'objet d'une autre communication. D'ores et déjà, il faut signaler qu'il s'agit d'un essai conduit de 2009 à 2012, portant sur la résistance variétale (cinq variétés de coton : A51, STAMF, A21, A24 et A26), l'arrachage manuel et le sarclage.

**Tableau 2.** Pertes de rendements\* des variétés de coton A51 et STAMF dues à *Sida cordifolia* à la Station de Bébédjia (A) et à la Ferme de Moussafoyo (B) en 2008-2009 (%).

Variété	% poquets germés		Vigueur plantules coton		Nombre capsules par plante		Poids coton graine		Poids fibre		Poids graines	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
A51	1	2	-100	-50	40	-14	38	8	14	10	40	4
STAMF	-18	-9	-33	0	50	14	36	-11	23	-8	22	-12
Moyenne	-9	-4	-67	-25	45	0	37	-2	19	1	31	-4

\* (Rendement sans sida – Rendement avec sida) × 100 / Rendement sans sida.

## Bibliographie

- Bedingam L.D., Ngartoubam L.T., 2006. *Rapport technique d'activités section Génétique et Entomologie coton campagne 2005/2006*. Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement, Bébédjia, Tchad.
- Berhaut J., 1967. *Flore du Sénégal*. 2<sup>ème</sup> Ed., Clairafrique, Dakar.
- Ministère des affaires étrangères, 2006. *Mémento de l'Agronome*. CIRAD-GRET, Paris.
- Naitormbaide M., Djoïtanen B.D.Y., Badoumna M., 2008. *Réunion bilan de la campagne 2007/2008 et de programmation des activités de la campagne 2008/2009*. Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement, Bébédjia, Tchad.
- Nekouam N., 2007. *Effets du sida (Sida cordifolia) sur deux variétés de coton (Gossypium hirsutum) à la Ferme de Békamba en 2006-2007. Rapport annuel 2006-2007*. Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement. Bébédjia, Tchad.
- Nekouam N., 2009. *Recherche sur le striga et le sida. Rapport annuel 2008-2009*. Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement. Bébédjia, Tchad.
- Ngartoubam L.T., Bedingam L.D., Nekouam N., 2007. *Rapport des activités Cotontchad campagne 2006/2007*. Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement. Bébédjia, Tchad.

## Comportement des génotypes d'anacardiers (*Anacardium occidentale* L.) à l'anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) au nord de la Côte d'Ivoire

Soro Sibirina, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire, E-mail : soro\_sibiri@yahoo.fr  
N'da Adopo Achill, Centre National de Recherche Agronomique  
Kone Daouda, Université Félix Houphouët-Boigny

### Résumé

Une étude épidémiologique à l'anthracnose a été conduite sur les parcs à bois des plants d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) à potentialité de rendement élevé au nord de la Côte d'Ivoire. L'anthracnose est une maladie cryptogamique causée par un champignon (*Colletotrichum gloeosporioides* Pensig) dont la forte prédominance s'exprime pendant les périodes de fortes humidités relatives. L'indice de sévérité de la maladie a été déterminé sur 3 porte-greffes combinés à 8 greffons ainsi que la zone de prédominance de la maladie entre Korhogo, Ferké et Tanda. Pour chaque type de combinaison (greffon/porte-greffe), 3 individus par répétition élémentaire ont été suivis dans un dispositif split-plot à 4 blocs. La période critique des infections pour le producteur se situe à la phase de débourrement et de floraison. La sensibilité des anacardiers à *C. gloeosporioides* n'est pas liée aux porte-greffes mais plutôt aux greffons. Les taux de nécroses des bourgeons foliaires et des panicules florales les plus élevés ont été obtenus avec les greffons b, c et f. Les meilleures combinaisons d'anacardier à conseiller aux producteurs sont Aa, Ba, Ca, Cc et Ad.

### Genotypic variability behaviour of cashewnut to *Colletotrichum gloeosporioides* in North Côte d'Ivoire

Epidemiology of anthracnose disease was conducted on the parks to high wood of cashew tree with potentiality of high output in the north of Côte d'Ivoire. Anthracnose is a cryptogamic disease caused by a fungus (*Colletotrichum gloeosporioides* Pensig) whose strong prevalence is expressed during the periods of strong relative's humidities. The disease index of severity was given for the crossing of 3 understocks and 8 grafts as well as the zone of prevalence of the disease between Korhogo, Ferké, and Tanda. For each type of combination (graft/understock), 3 individuals for an elementary repetition were sampled in split-plot dispositive of 4 blocks. The critical period of the infections for the producer is just before the flowering and during the flowering. The sensitivity of the cashew trees to *C. gloeosporioides* is not related on the understocks but rather to the grafts. The rates of necrosis foliar buds and panicles floral highest were obtained with the grafts b, c and f. The best combinations of cashew tree to advising with the producers are Aa, Ba, Ca, Cc and Ad.

## 1. Introduction

L'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) est une plante tropicale de la famille des Anacardiaceae. La production mondiale annuelle de noix de cajou est estimée à plus de 2 millions de tonnes. Les principaux pays producteurs sont l'Inde, la Côte d'Ivoire, le Vietnam et le Brésil (Anonyme, 2012).

La culture de l'anacarde occupe une place prépondérante dans le développement du nord et du Centre de la Côte d'Ivoire. Elle est devenue aujourd'hui la deuxième grande culture d'exportation de ces régions après le coton et représente plus de 1,7% du PIB ivoirien. (Anonyme, 2012).

La Côte d'Ivoire est devenue le premier producteur africain (47,82 %) avec plus de 500 000 tonnes par an. Elle a atteint le 2<sup>e</sup> rang mondial en moins d'une décennie (Anonyme, 2005 ; Anonyme, 2012). La Côte d'Ivoire produit 18 % de la production mondiale de noix de cajou. Cependant, le rendement national estimé à 500 kg de noix par hectare ne représente que la moitié du rendement moyen mondial (1 t/ha) (Anonyme, 2005). La filière fait vivre aujourd'hui près de 1,5 millions de personnes en Côte d'Ivoire (Anonyme, 2012).

Les premières introductions d'anacardier étaient constituées de matériel végétal «tout venant» (Kehe et al., 1997 ; N'da Adopo et al., 2002). L'anacardier était utilisé pour lutter contre l'érosion du sol et comme une plante de couverture. Aujourd'hui, avec la valeur marchande qu'occupe la plante, l'anacardier est devenu la deuxième culture de rente après le coton dans les zones de savane. Les superficies sont passées de moins de 100 000 ha à près de 1 million ha en moins d'une décennie (Anonyme, 2012). Face à cette situation, il s'avère nécessaire d'améliorer le rendement à l'hectare. Ainsi, l'État ivoirien a renforcé sa contribution à la recherche sur l'amélioration variétale de l'anacardier à travers le CNRA (Centre National de Recherche Agronomique), conformément à la conférence de Séoul, tenue en 2010.

L'extension de la zone de culture de l'anacardier a entraîné une augmentation de la pression parasitaire sur la plante. L'anthracnose constitue l'une des principales contraintes à la culture de l'anacardier en Côte d'Ivoire (Topper, 2002). La mise au point d'un système de lutte intégrée contre l'anthracnose devra inclure en plus de la sélection de génotypes tolérants, un système de suivi et de prévision de la maladie dans le temps et dans l'espace de culture de l'anacardier (Casulli, 1981). Pour développer un tel système, il faudra exiger des données précises sur la sévérité de la maladie dans les vergers. Les symptômes caractéristiques de l'anthracnose sont facilement identifiables ; cependant, le calcul de la sévérité de la maladie en milieu naturel reste un travail de phytopathologie. Les informations recueillies dans les vergers sur l'état de sévérité de la maladie serviront à mieux orienter les producteurs dans la prise de décision pour les traitements phytosanitaires des plantations. Par ailleurs, le système permettrait de suivre en plantation l'apparition de souches fongiques résistantes aux produits phytosanitaires et de déceler en même temps les molécules devenues inefficaces (Mc Roberts et al., 2003).

Pour contribuer à l'amélioration de la production des vergers d'anacardier ivoiriens, une étude a été conduite au cours de la phase de débourrement sur la sensibilité à l'anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) des arbres locaux à potentialité de rendement élevé. Les objectifs étaient d'identifier les génotypes d'anacardier les plus résistants à la maladie ; de déterminer les indices de sévérité de l'anthracnose dans trois différentes localités (Korhogo, Ferké et Tanda) de production de l'anacardier afin de prévoir un système de lutte intégrée.

Pour l'instant, le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) se propose de trouver des solutions techniques en relation avec le problème de l'anthracnose en vue de corriger la nécrose foliaire et florale des bourgeons afin de réduire l'impact de celle-ci sur la production de noix de cajou en Côte d'Ivoire.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Matériel

Les essais ont été suivis sur les stations de Recherche du CNRA de Ferké et de Lataha à Korhogo et sur la parcelle expérimentale de Tanda pendant la période de débourrement à la floraison des plants d'anacardier. La moyenne des pluies enregistrées sur les différents sites a été de  $15 \pm 3$  mm et la température moyenne s'élevait à  $30 \pm 2$  °C. Ces données météorologiques ont été relevées au cours des trois dernières semaines avant les observations des plants.

Le matériel végétal est composé de 3 porte-greffes codifiés (A, B et C) et de 8 greffons codifiés (a, b, c, d, e, f, g et h) d'anacardier âgés de 3 ans. Tout le matériel végétal provient de la collection de la station de recherche du CNRA de Lataha à Korhogo.

## 2.2. Méthodes

### 2.2.1. Dispositif expérimental

Le dispositif est un split-plot composé de 4 blocs dont le facteur principal est les porte-greffes (3) et le facteur subsidiaire les greffons (8). Un bloc renferme 3 sous-blocs contenant chacun 24 pieds d'anacardier qui représentent les objets définis (combinaisons). Chaque parcelle élémentaire contient 3 pieds et chaque arbre représente une combinaison (porte-greffe + greffon). La surface de la parcelle élémentaire est de 300 m<sup>2</sup>.

Les paramètres mesurés ont été le taux de nécrose des bourgeons foliaires et des panicules florales et l'indice de sévérité de l'antracnose sur ces deux organes. Les mesures ont été effectuées sur un nombre initial de 288 pieds soit 12 pieds observés par combinaison sur chaque site.

### 2.2.2. Taux de nécrose des bourgeons foliaires et des panicules florales

Les nombres de bourgeons foliaires et de panicules florales présentant des symptômes de l'antracnose ont été relevés par pied. Le taux moyen de bourgeons ou de panicules florales nécrosés a été calculé au niveau de chaque combinaison sur chaque site selon la formule ci-dessous :

$$T_x = \sum x_i / N * 100 \quad \text{où}$$

$x_i$  représente le nombre de plants malades pour la combinaison « i » ;

$N$  représente le nombre total de plants évalués.

### 2.2.3. Indice de sévérité de l'antracnose sur les bourgeons foliaires et les panicules florales

L'indice de sévérité de la maladie a été évalué à la phase de débourrement des plants. L'évaluation des symptômes a été effectuée du débourrement à la floraison de l'année 2012 en se basant sur une échelle de notation de symptômes (Groth et al., 1999 ; Cardoso et al., 2004) et qui comprend six grades allant de 0 à 9 :

0	Absence de symptômes	Résistant
1	1 – 5 % infection	Faible
3	6 – 10 % infection	Modérée
5	11 – 25 % infection	Légèrement Sévère
7	26 – 50 % infection	Sévère
9	> 50 % infection	Très sévère

Ces notations ont servi de base pour calculer l'indice de sévérité (Is) de la maladie qui correspond à la moyenne des valeurs attribuées aux 12 plants par combinaison.

$$Is = \sum (x_i n_i) / N \quad \text{où}$$

$x_i$  représente le grade atteint par la maladie au niveau de la plante ;

$n_i$  représente le nombre de plants malades pour le i<sup>ème</sup> grade selon l'échelle de notation de la maladie ;

$N$  représente le nombre total de plants malades évalués.

L'indice de sévérité de la maladie a été utilisé pour apprécier l'état épidémiologique de l'antracnose sur les trois sites (Cardoso et al., 2004). Les données recueillies ont été analysées à l'aide du logiciel Microsoft Excel. L'analyse de la régression linéaire a été employée pour examiner la sévérité en fonction du taux de nécrose à l'aide du logiciel Statistica 7.1. Les

données ont subi une transformation de la fonction ln pour réaliser le meilleur ajustement linéaire entre le taux de nécrose et l'indice de sévérité de la maladie.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Symptômes de l'anthracnose sur l'anacardier

Les symptômes sont observés sur les feuilles, les rameaux et les panicules florales. Ils se manifestent par de petites taches grisâtres ou brun foncé sur les bourgeons foliaires ou les panicules florales. Les premiers signes de noircissement apparaissent au niveau des parties tendres du rameau et de la panicule florale. Les tiges et les rameaux atteints brunissent, et les taches brunes s'allongent pendant que les tissus se dépriment, puis se désagrègent en lamelles. Les attaques des feuilles se manifestent par des taches brunes, sur le bord du limbe, qui deviennent noires. Les taches peuvent évoluer et former de larges nécroses par coalescence et provoquer la mort de l'organe atteint.

#### 3.2. Taux de nécrose des bourgeons floraux

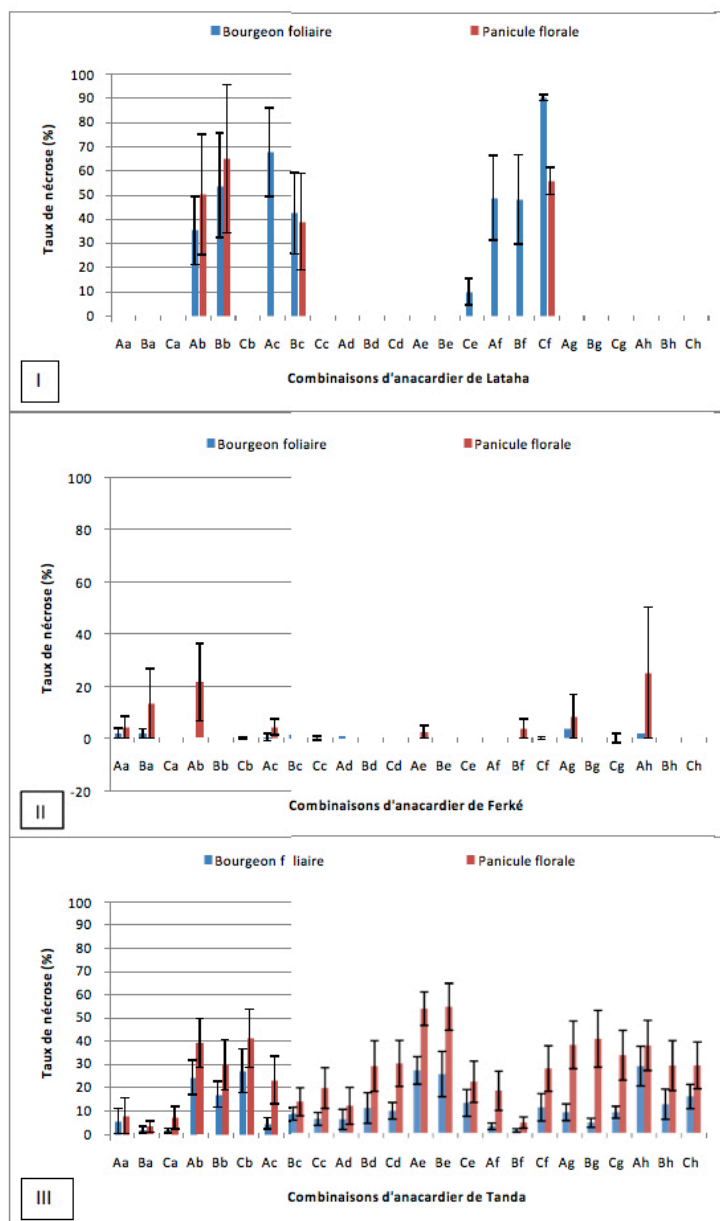
La figure 1 (I) présente le taux de nécrose des bourgeons foliaires et des panicules florales de Lataha. Tous les porte-greffes (A, B et C) présentent sensiblement un même niveau de nécrose foliaire et florale. Les greffons les plus sensibles à l'anthracnose sont b, c, e et f. Ils présentent tous des taux de nécrose supérieurs à 25 % sauf e (10 %). Les panicules florales présentent aussi un taux de nécrose supérieur à 25 % pour les greffons b, c et f. Les combinaisons Cf et Bb sont les plus sensibles à l'anthracnose à Lataha.

La figure 1 (II) présente le taux de nécrose des bourgeons foliaires et des panicules florales de Ferké. Les porte-greffes (A et B) sont les seuls qui présentent des nécroses foliaires et florales. Quant au porte-greffe C, il n'a présenté aucun symptôme de la maladie. Les greffons les plus sensibles à l'anthracnose par ordre d'importance sont h, b, a, g, f, c et e. Le taux de nécrose des bourgeons foliaires le plus élevé est obtenu à 3,3 % avec c et d. Les panicules florales présentent le taux de nécrose le plus élevé à 23 % chez le greffon h. Les combinaisons Ab et Ah sont les plus sensibles à l'anthracnose à Ferké.

La figure 1 (III) présente les taux de nécrose des bourgeons foliaires et des panicules florales de Tanda. Tous les porte-greffes (A, B et C) sont sensibles à l'anthracnose. Tous les greffons présentent des attaques de nécroses des bourgeons foliaires et des panicules florales. Cependant, le taux de nécrose varie selon la sensibilité des greffons à l'anthracnose. Les greffons b, e et h ont relevé les plus forts taux ( $\geq 25\%$ ) de nécrose des bourgeons foliaires. Les greffons b, e et g ont relevé les plus forts taux ( $\geq 40\%$ ) de nécrose des panicules florales. Les combinaisons Ae et Be sont les plus sensibles à l'anthracnose à Tanda.

#### 3.3. Indice de sévérité de l'anthracnose sur les plants d'anacardier

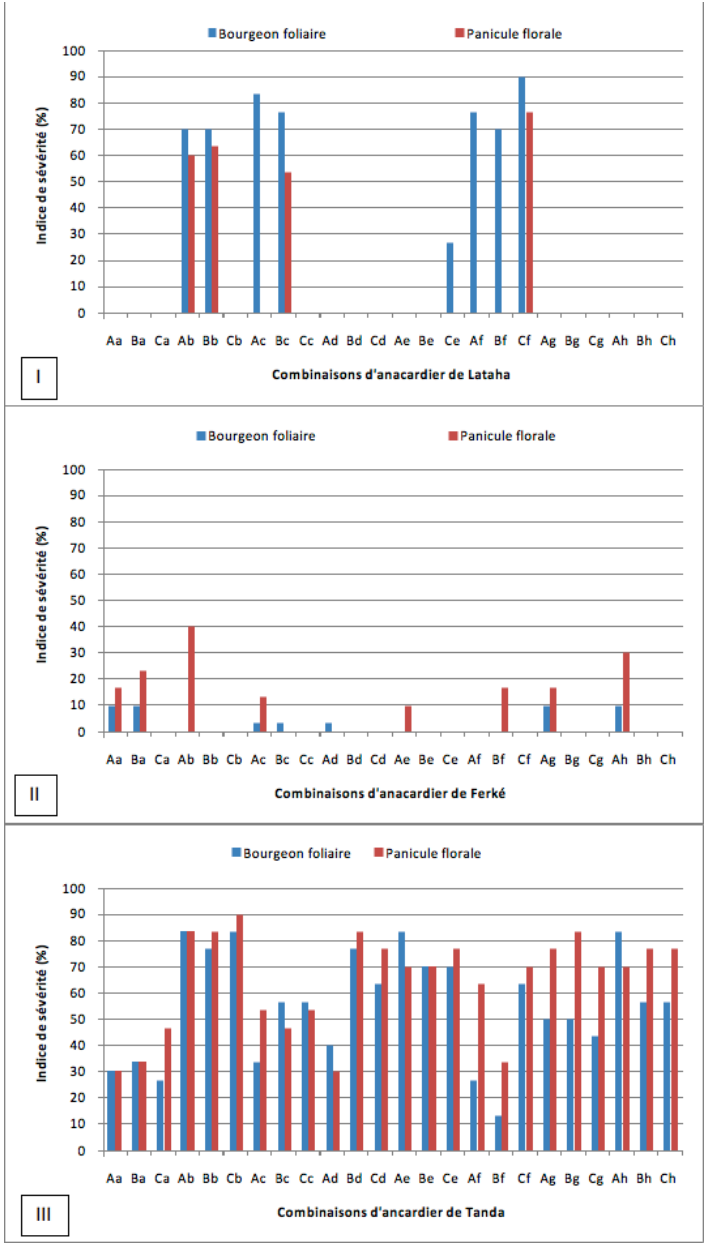
La figure 2 (I) présente les indices de sévérité de l'anthracnose sur les bourgeons foliaires et les panicules florales de Lataha. La sévérité de l'anthracnose s'exprime chez tous les porte-greffes (A, B et C) à des niveaux variables. La maladie est plus sévère chez les greffons b, c et f avec un indice de l'ordre moyen de 60 % aussi bien sur les bourgeons foliaires que les panicules florales. Les combinaisons Ac et Cf présentent les indices de sévérité à l'anthracnose les plus élevés (80 %) à Lataha.



**Figure 1.** Taux de nécrose dus à l'anthraxose dans les différents sites.

La figure 2 (II) présente les indices de sévérité de l'anthraxose sur les bourgeons foliaires et les panicules florales de Ferké. L'indice de sévérité de l'anthraxose sur le porte-greffe (C) est nul aussi bien sur les bourgeons foliaires que les panicules florales. La sévérité de la maladie chez le porte-greffe A (indice moyen 30%) est plus forte que chez B (indice moyen 20%). La maladie est plus sévère chez les greffons b et h avec un indice de l'ordre moyen de 35%. Les combinaisons Ab (40%) et Ah (30%) présentent les indices de sévérité à l'anthraxose les plus élevés à Ferké.





Figures 2. Indices de sévérité de l’anthracnose dans les différents sites.

La figure 2 (III) présente les indices de sévérité de l’anthracnose sur les bourgeons foliaires et les panicules florales de Tanda. La sévérité de l’anthracnose s’exprime chez tous les porte-greffes (A, B et C) à des niveaux variables. L’indice de sévérité est fortement exprimé à Tanda avec un taux moyen de 25 % pour toutes les combinaisons. La maladie est plus sévère chez les greffons b, d, e, g et h avec un indice de l’ordre moyen de 75 %. Les combinaisons Ab et Cb présentent les indices de sévérité à l’anthracnose les plus élevés à Tanda.

## 4. Discussion

Tous les porte-greffes sont affectés par la maladie tout comme les greffons. La sensibilité des combinaisons d'anacardier à *Colletotrichum gloeosporioides* varie selon les greffons et les zones. Le porte-greffe C a pu résister à l'agent pathogène pour tous les greffons au niveau de Ferké. Le taux de nécrose le plus faible a été relevé à Ferké pour toutes les combinaisons. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que *C. gloeosporioides* est un champignon épiphyllé et qu'il attaque la partie aérienne de la plante. La plupart des maladies fongiques comme l'anthraxose affectant les parties aériennes des plantes sont causées par des champignons microscopiques qui développent des lésions sur les tissus attaqués. Ces lésions libèrent des spores qui propagent la maladie en infectant d'autres plantes. L'évolution de la maladie par rapport aux différents cultivars est très souvent liée à la variabilité des souches fongiques de la même espèce. Villaréal et Lannou (2000) ont montré qu'il existe une sélection au sein de la population pathogène en faveur des isolats les mieux adaptés au géotype particulier d'un cultivar, lesquels sont donc moins performants sur plusieurs géotypes. Il serait donc possible que cela soit le cas pour le porte-greffe C. Dans le cas de l'anthraxose et des porte-greffes utilisés, le porte-greffe C serait promoteur pour la culture de l'anacardier en Côte d'Ivoire.

La différence dans la sensibilité à l'anthraxose observée chez les greffons serait liée à une action toxique du champignon. Cette action se manifesterait certainement dans des conditions favorisant le champignon comme les variations brusques de climat ou un affaiblissement du système racinaire (Narasimhan, Mayne, 1953). La maladie apparaît dans les vergers d'anacardier en début de débourrement. C'est une période caractérisée par une brusque variation de température de fin des pluies et de début de la saison sèche. Cette variation de température crée une instabilité physiologique chez la plante qui pourrait favoriser une forte attaque du champignon (Casulli, 1979; Cardoso et al., 2004).

L'expression de l'agent pathogène chez l'hôte est fortement liée à la compatibilité entre les deux. La plupart des plantes réagissent par la mise en place de phytoalexines contre les attaques des microorganismes (Jalloul et al., 2009). Une plante est plus sensible à une autre lorsque son système de défense est moins efficace et ce processus est fortement lié à la capacité du microorganisme à contourner le mécanisme de défense de la plante hôte. L'interaction entre l'hôte et le parasite est axée sur la régulation de l'action des hormones qui déterminent la sensibilité ou la résistance de la plante (Lopez et al., 2008). L'amélioration variétale inclut nécessairement la recherche de gènes de résistance ou de tolérance aux agents pathogènes.

Les trois sites étant situés tous, dans la même zone climatique, la différence dans la sévérité de la maladie serait liée aux variables microclimatiques. La zone de Ferké contrairement à celle de Tanda ressort avec le plus faible taux de nécrose sur les plants ainsi que l'indice de sévérité le plus faible. Le parc à bois de Ferké se trouve dans une zone de couverture végétale moins dense et donc plus ouverte. C'est une parcelle située pratiquement dans les mêmes conditions climatiques avec celle de Lataha. Cependant, à la différence des parcs de Lataha et de Tanda dont la végétation environnante (moins de 10 m) est très dense en arbres, celle de Ferké présente une vaste étendue de végétation herbeuse de plus de 100 mètres. La variation du microclimat joue un rôle important dans le développement et l'expansion d'une épidémie d'un champ à un autre dans la même zone (Dobzhansky, 1950). Ce couvert végétal environnant aurait donc eu un impact sur l'indice de sévérité de la maladie. Par ailleurs, l'association de plants tolérants et de moindre résistance contribue souvent à minimiser les risques d'apparition de fortes contagions dans les plantations (Suffert et al., 2011). La gestion des épidémies dans les vergers d'anacardier devrait donc inclure de nouveaux outils comme la recherche de cultivars résistants et surtout, le suivi permanent des échelles spatiales et temporelles.

## 5. Conclusion

Cette étude a été réalisée en station sur trois parcs à bois installés à Lataha, Ferké et Tanda au nord de la Côte d'Ivoire. Les génotypes retenus pour cette phase d'amélioration variétale sont ceux identifiés comme haut producteurs et ayant un fort taux d'amande. L'étude a permis de ressortir une différence dans la sensibilité à l'anthracnose de 3 porte-greffes et de 8 greffons soit 24 combinaisons de plants d'anacardier. Le comportement des différentes combinaisons au champignon varie selon le porte-greffe, le greffon et la zone de culture. Le site de Ferké est moins sensible à la maladie alors que celui de Tanda présente le plus fort taux d'attaque. Le porte-greffe C n'a subi aucune attaque fongique à Ferké. L'indice de sévérité de la maladie le plus élevé a été obtenu à Tanda avec les combinaisons Ab et Cb. Les combinaisons Aa, Ba, Ca, Cc et Ad sont les moins affectées par la maladie sur les trois sites. L'association des différents génotypes a contribué à la résistance à l'anthracnose des plantes sur les trois sites à faible coût tout en stabilisant la biodiversité. Une meilleure connaissance du cortège symbiotique de la phyllosphère de l'anacardier montrerait en quoi la biodiversité microbienne associée aux plantes contribue à structurer les propriétés des combinaisons dans ces différentes zones.

Les résultats de cette étude ont permis d'établir l'indice de sévérité de la maladie par un modèle simple de relevé et d'analyse du nombre d'organes atteints par l'anthracnose en vergers d'anacardier. Un modèle d'estimation et de prévision de l'état de gravité de la maladie en plantation pourrait donc être développé à partir de ce système. Le producteur et toute la filière anacarde en bénéficierait pour augmenter leurs revenus au niveau économique.

## Remerciements

Les parcelles de parcs à bois et de vergers grainiers ont été mises en place sous convention entre le CNRA et le FIRCA (Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles) dans le cadre du projet «Amélioration variétale de l'anacardier». Nous tenons à remercier cette Structure et la Filière Anacarde.

## Bibliographie

- Anonyme, 2005. *Pour une meilleure gestion des filières Coton et Anacarde*. ARECA Anacarde-Coton, Abidjan.
- Anonyme, 2012. *Dossier Anacarde-Côte d'Ivoire*. L'anacardier, Abidjan. <http://africonseilmatierespremier.es/over-blog.com/article-dossier-anacarde-cote-d-ivoire-107895909.html>
- Cardoso J.E., Santos A.A., Rossetti A.G., Vidal J.C., 2004. Relationship between incidence and severity of cashew gummosis in semiarid north-eastern Brazil. *Plant Pathology*, **53**(3), 363-367.
- Casulli F., 1979. Il mal bianco dell'anacardio in Tanzania. *Rivista di Agricoltura Subtropica e Tropicale*, **73**, 241-248.
- Casulli F., 1981. L'antracnosi dell'anacardio in Tanzania. *Rivista di Agricoltura Subtropica e Tropicale*, **75**, 451-456.
- Dobzhansky T., 1950. Evolution in the tropics. *American Scientist*, **38**, 209-221.
- Groth J.V., Ozmon E.A., Busch R.H., 1999. Repeatability and relationship of incidence and severity measures of scab of wheat caused by *Fusarium graminearum* in inoculated nurseries. *Plant Disease*, **83**, 1033-1038.
- Jalloul A., Clerivet A., Nicole M., 2009. La signalisation hormonale dans la résistance des plantes aux bioagresseurs. *Cahiers Agricultures*, **18**(6), 493-497.
- Kehe M., N'da Adopo A., Rey J.Y., Koffi E., Nguetta K., 1997. *L'anacardier, place de l'Afrique de l'Ouest et de la Côte d'Ivoire dans la production mondiale : diagnostic du verger ivoirien. Symposium Anacarde, Promexa, PPDEA, CECI, Yamoussoukro, 12 au 14 juin 1997*, 9 p.

- Lopez M., Bannenberg G., Castresana C., 2008. Controlling hormone signalling is a plant and pathogen challenge for growth and survival. *Current Opinion in Plant Biology*, **11**(4), 420-427.
- Mc Roberts N., Hughes G., Madden L.V., 2003. The theoretical basis and practical application of relationships between different disease intensity measurements in plants. *Annals of Applied Biology*, **142**, 191-211.
- N'da Adopo A., N'guessan A., Kehe M., Dea G.B., 2002. Impact de la culture du manguier et de l'anacardier sur l'environnement et l'amélioration des revenus des paysans au Nord de la Côte d'Ivoire. In : Assamoi Yapo R., Burger K., Nicolas D., Ruf F., De Vernou P. (eds). *L'avenir des cultures pérennes, investissement et durabilité en zones tropicales humides, Conférence internationale sur l'avenir des cultures pérennes, 5-9 novembre 2001, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire*. CIRAD, Montpellier, France. (CD-ROM).
- Suffert F., Sache I., Lannou C., 2011. Early stages of Septoria tritici blotch epidemics of winter wheat: build-up, overseasoning, and release of primary inoculum. *Plant Pathology*, **60**, 166-177.
- Topper C.P., 2002. Issues and constraints related to the development of cashew nuts from five selected African countries (Côte d'Ivoire, Ghana, Guinea, Guinea Bissau and Nigeria). In: *Réunion régionale sur le développement des exportations de noix de cajou d'Afrique organisée par le Centre de Commerce Internationale/CNUCED/OMC (CCI) et le Fond Commun de Produits de Base (CFC), en collaboration avec le Conseil National pour l'Exportation (CNEX). Projet N° INT/W3/69 « Développement des exportations des noix de cajou d'Afrique »*. 23 – 26 juillet 2002, Cotonou, Bénin, 24 p. <http://www.unctad.info/upload/Infocomm/Docs/cashew/issues.pdf>
- Villaréal L., Lannou C., 2000. Differential selection by host genetic background in a wheat powdery mildew population. *Phytopathology*, **90**, 1300-1306.
- Narasimhan M.J., Mayne W.W., 1953. Report of the disease situations in Coffee areas in 1933. *Planter's Chronicle*, **18**(26), 585-590.



## Étude de la sensibilité des cultivars de bananier plantain à *Radopholus similis* (Cobb) Thorne (nématode) et essais de protection aux formulations de graines de neem (*Azadiracta indica* A. Juss)

Kosma Philippe, Université de Maroua, Cameroun, E-mail : philippekosma@yahoo.fr  
 Ambang Zachée, Université de Yaoundé I, E-mail : zachambang@yahoo.fr  
 Ten Hoopen Martijns, CIRAD, E-mail : tenhoopen@cirad.fr  
 Begoude Didier, IRAD, Nkolbisson, Cameroun, E-mail : dbegoude@yahoo.fr

### Résumé

Les plantains font partie des produits vivriers qui assurent la sécurité alimentaire au Cameroun. Cependant, les rendements de production demeurent faibles à cause de nombreuses contraintes parasitaires, dues notamment à *Radopholus similis*, nématode qui peut causer jusqu'à 75 % de pertes dans les plantations si aucune mesure de protection n'est entreprise. Dans la plupart des cas, le degré de sensibilité des cultivars locaux de bananier plantain vis-à-vis de *R. similis* reste inconnu ; ce qui entraîne généralement des rendements très bas, malgré les techniques de lutte employées. Cela constitue un risque à leur vulgarisation à l'échelle nationale. La stratégie de lutte communément utilisée repose essentiellement sur les produits chimiques dont l'usage est polluant, onéreux et contraignant. Dans la recherche des alternatives à la lutte chimique, ce travail a été entrepris pour évaluer la sensibilité de cultivars *Essong* et *Big Ebanga* à *R. similis* et l'effet des formulations de graines de neem (FGN) dans la protection des bananeraies au Cameroun. À cet effet, le pouvoir pathogène de *R. similis* sur les cultivars *Essong* et *Big Ebanga* a été évalué *in vivo*. Quatre types de FGN [extrait organique, extrait aqueux, huile de neem et poudre de graine de neem] ont été préparées et utilisées pour évaluer leurs effets contre *R. similis* en champ. Les résultats obtenus montrent que les cultivars *Essong* et *Big Ebanga* sont sensibles vis-à-vis de *R. similis*. L'amendement du sol avec ces formulations a provoqué une réduction de la population de *R. similis* et une amélioration du rendement en plantain. Ces résultats suggèrent que les graines de neem pourraient être une matière première pour l'application de nouvelles biotechnologies, telle que la formulation de nématicides d'origine naturelle, pourvoyant ainsi une alternative durable à la lutte chimique contre les nématodes du bananier, dans les systèmes de protection intégrée.

### Study of the sensitivity of banana plantain cultivars to *Radopholus similis* (Cobb) Thorne (nematode) and test of protection neem (*Azadiracta indica* A. Juss) seed formulations

Plantains are an important food-crop that ensures a better food security in Cameroon. However, plantain yields remain low because of several parasite constraints, such as *Radopholus similis*, a nematode that can cause losses up to 75% in fields when no protection measures are taken. In most cases, the sensitivity of local plantain cultivars to *R. similis* is unknown; which generally causes low yields despite the control technique used and is a threat to their popularization in the national territory. The control strategy commonly used is based on the use of chemical products which are generally harmful to the environment, the human health and which are very expensive. This work was undertaken to assess the sensibility of two banana plantain cultivars *Essong* and *Big Ebanga* to nematode *R. similis* and the effects of neem seed formulations in the pest management of plantain crops in Cameroon. For this purpose, the parasitic activity of *R. similis* on the cultivars *Essong* and *Big Ebanga* was assessed *in vivo*. Four types of neem seed formulations [methanol extract, water extract, oil extract and neem seed powder] were prepared and tested in field. According to the results obtained, cultivars *Essong* and *Big Ebanga* sensitive to *R. similis*. Soil amendment with these formulations resulted in reduction of the population of *R. similis* and improved performance plantain. These results suggest that neem seeds can be used for the application of biotechnologies such as, the production of natural nematocides,

thus providing a sustainable alternative to the chemical management of plantain nematodes in integrated management production schemes.

## 1. Introduction

Au Cameroun, la production nationale de plantain est estimée à environ 1 450 000 tonnes. C'est une denrée de base pour les populations, et la consommation annuelle par individu varie entre 109 et 128 kg (Dury et al., 2002). De façon générale, la banane plantain qui est consommée sous forme de légume cuit ou frit, est également utilisée sous de nombreuses transformations : chips, frites, beignets (Ngoh et al., 2005 ; Honfo et al., 2007). Elle représente, en outre, une source substantielle de revenus pour de nombreuses populations et les acteurs de la chaîne de commercialisation en milieu rural et urbain (Nkendah, Akyeampong, 2003 ; Jacobsen et al., 2004). Un large éventail de variétés de bananier plantain est cultivé au Cameroun et parmi celles-ci, les cultivars locaux tels que *Big Ebanga* (*Musa*, AAB) et *Essong* (*Musa*, AAB) font partie des variétés les plus consommées (Mengue et al., 2003 ; Ngoh et al., 2005 ; Okolle et al., 2009). Ces cultivars que l'on retrouve abondamment dans la plupart des exploitations sont caractérisés sur le plan organoleptique par leur richesse en vitamine A, caroténoïdes et autres minéraux essentiels comme le zinc et le potassium (Ngoh et al., 2005 ; Lusty et al., 2006). Par ailleurs, la précocité de la production associée aux caractéristiques physiques des régimes à savoir la taille, le nombre de mains et la dimension des doigts constituent les critères de base pour la sélection de ces cultivars par les paysans (Mengue et al., 2003).

Bien que les caractéristiques agronomiques ne figurent pas dans la liste des critères pris en compte par les paysans pour effectuer leur sélection variétale, il n'en demeure pas moins que l'incorporation de certains paramètres agronomiques tels que la sensibilité parasitaire pourrait fortement ajouter du crédit à la stratégie de sélection variétale opérée par les producteurs. En effet, l'un des fléaux qui limitent la production durable de bananier plantain dans la plupart des zones de production est la forte sensibilité des cultivars locaux aux attaques des nématodes (Gowen et al., 2005 ; Quénéhervé, 2008). En ce qui concerne les cultivars *Essong* et *Big Ebanga*, en dépit de leur prépondérance dans les exploitations paysannes, aucune information définissant leur niveau de sensibilité aux nématodes phytoparasites n'est disponible. La connaissance du niveau de sensibilité de ces cultivars à *R. similis* pourrait être une information capitale pour leur vulgarisation sur le plan national.

Les nématodes phytoparasites sont des vers microscopiques mesurant moins de 1 mm de longueur (Quénéhervé, 2008). Ceux qui s'attaquent aux bananiers sont des parasites stricts qui se nourrissent pour la plupart sur les racines des plantes, occasionnant des symptômes tels que des nécroses, des lésions et des galles sur les racines (Sarah, 1989 ; Chabrier, Quénéhervé, 2003 ; Chabrier et al., 2005). Les racines attaquées deviennent incapables d'assurer la nutrition hydrique et minérale de la plante, mais aussi le maintien de celle-ci, d'où la chute des bananiers plantains due au mauvais ancrage des plants ou à la pourriture des racines nécrosées (Sarah et al., 1996). Dans des conditions extrêmes de sols très pauvres et fortement érodés, les pertes associant la réduction du poids des régimes et les chutes de plants peuvent atteindre 75 % (Sarah et al., 1996).

Diverses espèces de nématodes ont été identifiées en Afrique centrale et occidentale dans les bananeraies industrielles et les champs paysans (Loubana et al., 2007). Parmi les plus importantes, figurent *Radopholus similis*, *Helicotylenchus multicinctus*, *Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne javanica*, *Hoplolaimus pararobustus*, *Pratylenchus coffeae* et *Pratylenchus goodeyi* (Loubana et al., 2007). Toutefois parmi les parasites de bananier plantain, le nématode *R. similis* est le plus répandu et le plus dommageable sur le plan économique (Sarah et al., 1996 ; Gowen et al., 2005 ; Loubana et al., 2007). C'est un endoparasite migrateur que l'on retrouve dans les racines de bananier plantain et généralement dans les zones de basse



altitude (Bridge et al., 1995 ; Sarah et al., 1996). Les pertes annuelles de rendement imputables à *R. similis* peuvent atteindre 20 à 75 % (Bridge et al., 1995 ; Sarah et al., 1996 ; Fogain, 2000).

Diverses stratégies de lutte contre *R. similis*, à savoir la lutte culturale, la lutte génétique, la lutte biologique et la lutte chimique ont été employées (Sarah et al., 1996 ; Quénéhervé, 2008). Parmi toutes ces méthodes, la lutte chimique qui consiste à traiter le sol et les cultures au moyen des produits de synthèse reste pour des raisons essentiellement d'ordre économique et de facilité de mise en œuvre, la méthode la plus vulgarisée (Chabrier et al., 2005). Malgré leur efficacité, l'utilisation régulière des produits chimiques présente des inconvénients. En dehors de leur coût d'application relativement élevé, ils perturbent les équilibres écologiques des milieux traités, polluent l'environnement et les denrées alimentaires, entraînent des effets néfastes sur la santé de l'homme et des animaux, et occasionnent le développement des souches résistantes (Lacher et al., 1997 ; Aubertot et al., 2005 ; Multigner et al., 2005).

Les travaux de recherches menées dans divers pays ont permis d'explorer les possibilités de lutter naturellement contre les nématodes phytoparasites à l'aide des plantes à effet nématicide (Janese et al., 1997 ; Nasima et al., 2002 ; Ioannina et al., 2004 ; Jothi et al., 2004). Le neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) est un arbre de la famille des *Meliaceae*, originaire d'Inde et d'Asie du Sud-Est (Bhandri, Mukerji, 1959). Cette plante est bien connue pour ses propriétés pesticides et reste la plus utilisée des plantes médicinales en Inde (Biswas et al., 2002). Pendant des années, les agriculteurs indiens ont exploité les propriétés fongicides, insecticides et anti-appétentes du neem à l'état brut pour résoudre les problèmes phytosanitaires (Javed et al., 2008). Très récemment, l'utilisation des dérivés de graines de neem comme produit de lutte contre les nématodes phytoparasites a été explorée au cours de l'évaluation de l'efficacité de plusieurs formulations sur les galles racinaires dues à *Meloidogyne javanica* (Javed et al., 2008). De même, l'activité nématicide des dérivés de neem sur les nématodes de plusieurs plantes, y compris du bananier, a été largement démontrée (Ravi et al., 2000 ; Harish, Gowda, 2001). Cependant, l'effet des formulations de graines de neem dans la protection de bananier plantain contre le nématode *R. similis* en champ demeurent inconnus. L'objectif principal de la présente étude est d'évaluer la sensibilité de cultivars *Essong* et *Big Ebanga* à *R. similis* et l'effet des formulations de graines de neem (FGN) dans la protection des bananeraies au Cameroun.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Bananier plantain

Dans cette étude, des vitro-plants des cultivars de bananiers plantains *Essong* et *Big Ebanga* fournis par l'Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA) de Nkolbisson-Yaoundé, ont été utilisés pour l'évaluation *in vivo* de leur sensibilité à *R. similis*. Le cultivar Grande naine, réputé très sensible à *R. similis* (Speijer, De Waele, 1997), a été utilisé comme référence. Les vitro-plants de bananier sont mis en culture pendant trois mois sous serre. Après enracinement, les vitro-plants munis de quatre feuilles, sont repiqués dans des bacs remplis de terre stérilisée. Quatre semaines plus tard, les plants ont été transférés individuellement dans des pots en plastique de 20 cm de diamètre et 25 cm de profondeur remplis d'un mélange autoclavé de sol sableux (60 % de sable, 20 % de limons, 20 % d'argile) et de tourbe (4 : 1). Les plants ont été maintenus sous éclairage naturel et arrosés selon les besoins, dans une serre au sein de laquelle la température oscillait de 25 à 30 °C durant l'expérimentation.

Pour l'évaluation de l'effet des formulations de graines de neem contre le nématode *R. similis* en champ, des rejets des cultivars de bananiers plantains *Essong* et *Big Ebanga* ont été récoltés dans les plantations paysannes à Mbankomo et à Ndimi. Les rejets collectés puis nettoyés ont été parés et pesés sur une balance (Sartorius MC1 + LC2201, B17519) afin de déterminer leur masse et procéder au calibrage.

## 2.2. Obtention des différentes formulations de graines de neem

Les fruits mûrs de neem ont été épluchés et les noyaux recueillis ont été séchés à l'air libre pendant 24 h. Les noyaux secs ont été décortiqués manuellement pour extraire les graines. Les graines ainsi obtenues ont été mises à sécher à température ambiante au laboratoire pendant 12 jours, puis broyées finement à l'aide d'une broyeuse électrique (Victoria Grain Mill-High Hopper, Medellin, Colombia). La poudre de graines de neem (PGN) ainsi obtenue a été conservée dans les flacons en verre opaque.

Le méthanol a été utilisé pour obtenir les extraits organiques de poudre de graines de neem (EO). Pour l'extraction, 100 g de poudre ont été introduits dans un erlenmeyer contenant 600 ml de méthanol puis laissés macérer pendant 48 h. Le mélange obtenu a été filtré à l'aide d'une toile et du papier filtre de type Whatman N°2, et le méthanol a été évaporé à l'aide d'un évaporateur rotatif (Buchi-R- 200, Medellin, Colombia) à 20 °C.

Le principe d'obtention des extraits aqueux de poudre (EA) utilisé a été décrit par Kosma et al. (2011). Une quantité de 100 g de poudre a été enveloppée dans une toile (1 mm de diamètre des mailles), puis plongée dans un récipient contenant 2 l d'eau. Après 24 h de macération, la toile contenant la pâte de neem a été retirée du récipient et essorée pour obtenir la solution aqueuse de neem. Une solution de détergent (savon en poudre, 100 mg/l) a été ajoutée à cette solution aqueuse et l'ensemble a été homogénéisé manuellement à l'aide d'une spatule.

Le principe d'extraction des huiles végétales tel que décrit par Kosma et al. (2011) a été utilisé pour extraire les huiles de neem (HN) à partir de la même poudre. Ainsi, 100 g de la PGN ont été introduits dans un récipient et 5 ml d'eau chaude y ont été ajoutés. L'extraction a été effectuée par pression de la PGN sans ajout de solvant organique. La poudre a été transformée en une pâte malaxée à la main pour en extraire une huile marron-vert, presque opaque et d'une odeur épicée bien spécifique. À la fin de l'extraction, l'huile de neem brute (mélange d'huile et de boue) obtenue a été filtrée à l'aide de filtre à café («Filtration douce», 1 × 4, Melitta, France). L'huile filtrée a été mise dans des bouteilles en aluminium adaptées au conditionnement des huiles.

Les rendements d'extraction ont été calculés par rapport au poids du matériel végétal suivant la formule ci-dessous.

$$\text{Rdt (\%)} = \frac{\text{Masse de l'extrait (g)}}{\text{Masse du matériel végétal (g)}} \times 100$$

## 2.3. Inoculum des nématodes *R. similis*

Des racines de bananier plantain prélevées dans des champs paysans à Mbankomo et présentant des nécroses, symptômes caractéristiques de *R. similis*, ont servi de source pour l'inoculum de nématode utilisé dans cette étude. Les racines infectées ont été soigneusement lavées à l'eau courante, puis sectionnées en fragments de 1 cm de longueur. L'isolement des nématodes a été réalisé par la méthode de tamisage de Cobb (Speijer, De Waele, 1997; Hooper et al., 2005) et grâce aux dispositifs modifiés de Baermann. Les nématodes *R. similis* ont été identifiés à partir des clés de détermination établies par Seinhorst (1966) et De Maeseneer et D'Herde (1963) et sur la base des caractères morphologiques et biométriques des spécimens selon les descriptions de Orton Williams et Siddiqi (1973). Une aliquote (2 ml) de l'eau de lavage est utilisée pour le dénombrement des nématodes sous la loupe binoculaire et ou au microscope × 40. L'inoculum obtenu a été concentré en boîte de Petri.

## 2.4. Évaluation *in vivo* de la sensibilité des cultivars de bananier plantain *Essong* et *Big Ebanga* à *R. similis*

Soixante plants des cultivars locaux de bananier plantain *Big Ebanga*, *Essong* et du cultivar de référence Grande naine ont été utilisés pour évaluer leur sensibilité à *R. similis* au Laboratoire Régional de Microbiologie Appliquée et de Lutte Biologique de l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) de Nkolbisson. Les plants de bananier ont été répartis en trois groupes de  $3 \times 20 = 60$  plants suivant un dispositif expérimental en bloc. Pour chaque cultivar, un lot de plants non inoculés constituait le témoin ( $T_0$ ), tandis que ( $T_1$ ) était le lot de plants inoculés de *R. similis*.

Des suspensions contenant environ 500 individus adultes de *R. similis* par ml ont été préparées. Une solution de 2 ml de ces suspensions (soit 1000 nématodes) a été introduite à l'aide d'une pipette dans cinq trous profonds de 2-3 cm, uniformément répartis dans le mélange terreux autour de chaque plante à proximité du stipe. Les plants ainsi inoculés ont été maintenus dans la serre selon les conditions décrites ci-dessus. Le pouvoir pathogène des nématodes *R. similis* a été évalué par la mesure de l'effet des nématodes sur les paramètres de croissance des plants de bananiers, la mesure de l'indice de nécrose racinaire, la mesure des taux de multiplication de *R. similis* et de la teneur en composés phénoliques dans les racines durant les 90 jours de l'expérimentation après inoculation (JAI).

À cet effet, les paramètres de croissance mesurés sur chaque plant et à des intervalles de temps de 14 jours à partir du premier jour après inoculation, incluaient : le nombre de feuilles fonctionnelles de chaque pied de bananier plantain ; la taille et le diamètre au collet des plants déterminés en centimètres (cm). La taille des plants a été mesurée à l'aide d'un mètre ruban tandis que le diamètre au collet a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse.

Pour l'évaluation des indices de nécroses racinaires, pour chaque traitement et dans chaque pot, cinq racines primaires et fonctionnelles mesurant 10 cm de longueur ont été sélectionnées de façon aléatoire. La somme des longueurs des fragments examinés était la même pour chaque traitement. Ces racines ont été fendues en deux parties dans le sens vertical. L'indice de nécrose racinaire (INR) a été évalué suivant une échelle allant de 0 à 4 où : 0 = pas de dégât ; 1 = dégât léger (< 25% du cortex de la racine totale nécrosé) ; 2 = dégât modéré (25-50% du cortex de la racine totale nécrosé) ; 3 = dégât sévère (51-75% du cortex de la racine totale nécrosé) ; 4 = dégât très sévère (75% du cortex de la racine totale nécrosé). La sévérité de l'infection a été déterminée pour chaque cultivar en divisant la somme des scores individuels par le nombre de racines observées.

Les racines primaires et fonctionnelles précédemment utilisées pour l'évaluation des indices de nécroses racinaires ont servi pour l'estimation du taux de reproduction des nématodes *R. similis* chez tous les cultivars étudiés. Ainsi, une suspension composée des nématodes et d'eau a été diluée dans un tube gradué de façon à obtenir un volume de 200 ml. Un sous-échantillon de 2 ml a été prélevé avec une micropipette et déposé sur une lame de comptage. Les nématodes ont été dénombrés et la quantité finale par unité racinaire (la masse de 5 racines fonctionnelles) a été déduite. Pour chaque cultivar, le taux de multiplication de *R. similis* par traitement a été obtenu par la formule

$$T_m = \frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100$$

où  $P_f$  = population finale des nématodes récoltés sur un plant et  $P_i$  = population initiale.

Et enfin, pour le dosage des phénols totaux, une quantité de 0,5 g de matière sèche (poudre des racines des bananiers) et 10 ml d'une solution acétone/eau (70:30) ont été placés sous agitation pendant 10 mn, puis broyés à l'Ultra-Turax. Le mélange a été filtré et 150 µl de cet extrait brut (EB) a été utilisé pour le dosage des phénols totaux par la méthode de Folin (Singleton et al., 1999).

## 2.5. Évaluation en champ de l'effet de formulations de graines de neem sur *R. similis*

Trois cent soixante (360) rejets de bananier plantain des cultivars *Essong* et *Big Ebanga*, ont été utilisés pour évaluer l'activité nématocide de formulations de graines de neem en champ, dans deux sites expérimentaux (Ndimi, Mbankomo). Avant la mise en place des essais, une analyse nématologique préliminaire a permis de déterminer l'homogénéité de l'infestation naturelle initiale dans les deux sites expérimentaux par les nématodes *R. similis*. Ainsi, dans chaque site expérimental, les plants de bananier plantain ont été repartis en 6 groupes de 30 plants par traitement et par cultivar chacun ( $6 \times 30 \times 2 = 360$ ). Un dispositif expérimental en bloc complètement randomisé a été adopté et les traitements suivants ont été appliqués à chaque groupe de plants (ou rejets) au moment du transfert des plants en terre : poudre de graines de neem (PGN); extrait organique (EO); extrait aqueux (EA); huile de neem (HN); carbofuran ( $T_0^+$ ); eau simple ( $T_0^-$ ). Par la suite, les applications des formulations ont été répétées trois fois durant l'expérimentation, en des intervalles réguliers de 3 mois. Les traitements PGN et  $T_0^+$  ont été épandus en couronne autour de chaque plant à un rayon d'environ 30 cm et respectivement aux normes de 250 et 50 g/plant. Par contre, les formulations HN, EA et EO ont été appliquées respectivement aux normes de 0,2; 0,25 et 0,33 l/plant, utilisant un pulvérisateur à dos et à pression équipé d'une buse à jet d'extrait. Ces solutions ont été déversées tout autour de chaque plant formant un cercle de diamètre 60 cm environ. Les plants témoins ( $T_0^-$ ) n'ont reçu que de l'eau simple. Les effets de l'application des différentes formulations de graines de neem ont été évalués par la mesure de la population de *R. similis* et la mesure du rendement en plantain.

La densité de la population de *R. similis* dans les racines des plants de bananiers plantains testés a été estimée conformément à la méthode décrite plus haut. Par contre, le rendement annuel brut en t/ha a été déduit à partir du poids moyen des régimes multiplié par la densité des plants en utilisant la formule suivante :

$$Rb = \frac{PM \times PR \times D \times 100}{Cy} \times 100$$

où Rb est le rendement annuel brut, PM représente le poids moyen d'un régime, PR est la proportion de régimes récoltés, D est la densité des plants (plants/ha) et Cy est la durée du cycle en jours.

## 2.6. Analyse des données

Les données enregistrées (nombre de feuilles, taille et diamètre au collet des plants) ont été soumises à une analyse de la variance (ANOVA) à l'aide du logiciel SPSS au seuil de signification 5%. La variable «nombre de nématodes» a été transformée en calculant le logarithme  $\log_{10}(x + 1)$ , où x représente le nombre de nématodes avant l'analyse de variance. Tous les dosages ont été réalisés en triple exemplaire et les résultats exprimés en équivalent acide gallique par rapport à la matière sèche (ppm EAG/ms). Les moyennes présentant des différences significatives ont été classées par la méthode de Newman et Keuls.

## 3. Résultats

### 3.1. Influence de l'infection de *R. similis* sur la croissance des plants de bananiers testés

Les données (Tableau 1) récapitulent les résultats relatifs à la croissance des plants des bananiers à la suite de l'inoculation artificielle des plants avec les nématodes. L'analyse statistique réalisée sur l'incidence de l'infection de nématode *R. similis* sur la croissance des

plants de bananiers testés révèle une interaction (traitement × cultivar) non significative ( $P = 0,51$ ). Quatre vingt dix (90) jours après inoculation, l'analyse de variance a montré que les moyennes du nombre de feuille, de la taille et du diamètre au collet des plants inoculés avec *R. similis* sont significativement différentes ( $P < 0,05$ ) et moins élevées, comparativement aux mesures obtenues chez les plants non inoculés (témoins). Les moyennes de mesures du nombre de feuille et de la taille des plants obtenues sur le cultivar *Big Ebanga* sont significativement différentes ( $P < 0,05$ ) et plus élevées comparativement à celles obtenues sur les cultivars *Essong* et Grande naine, dont les valeurs mesurées ne présentent pas de différence significative ( $P > 0,05$ ). Cependant, les moyennes des mesures du diamètre au collet (Tableau 1) obtenues sur les trois cultivars de bananier testés montrent des différences significatives ( $P < 0,05$ ).

**Tableau 1.** Influence de l'infection de *R. similis* sur la croissance des parties aériennes.

Cultivars	Traitements	Nombre de feuilles	Taille des plants	Diamètre du collet	Moyennes		
					Nombre de feuilles	Taille des plants	Diamètre du collet
Esson	T0	7,5	30,5	16,3	6,6b	26,5b	14,8b
	T1	5,7	22,4	13,3			
Big Ebanga	T0	8,1	37,0	19,4	7,1a	33,9a	17,7a
	T1	6,0	30,8	15,9			
Grande naine	T0	7,1	36,2	13,0	6,5b	28,8b	12,2c
	T1	5,0	21,3	11,4			
Moyenne	T0	7,6a	34,6a	16,2a			
	T1	5,9b	24,8b	13,5b			

Dans une même colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne présentent pas de différence significative selon le test de Newman-Keuls au seuil 5%. T0 : plants non infectés et T1 : plants infectés.

### 3.2. Influence de l'infection de *R. similis* sur taux de multiplication des nématodes *R. similis* et les indices de nécroses racinaires (INR)

À l'issue de l'infection par *R. similis*, les résultats obtenus ont montré que l'effectif de la population initiale des nématodes a augmenté dans les racines des trois cultivars de bananier testés (Tableau 2). Les taux de reproduction de 0,01 ; 1,8 et 1,8 ont été enregistrés respectivement chez les cultivars *Big Ebanga*, *Essong* et Grande naine. L'analyse de variance a montré que des moyennes de la population de *R. similis* par 100 g de racines ainsi que celles de leur taux de multiplication dans les racines des plants du cultivar *Big Ebanga* étaient significativement différentes ( $P < 0,05$ ) et plus basses comparativement à celles obtenues chez les cultivars *Essong* et Grande naine (Tableau 2). De même, la moyenne des mesures des indices de nécroses racinaires obtenue dans les racines du cultivar *Big Ebanga* était significativement différente ( $P < 0,05$ ) et moins élevée par rapport à celles enregistrées dans les racines des cultivars *Essong* et Grande naine, qui ne présentaient pas de différence significative ( $P > 0,05$ ).

**Tableau 2.** Influence de l'infection de *R. similis* sur le taux de reproduction de *R. similis* et les INR (%).

Cultivars	<i>R. similis</i> initiale Pi	<i>R. similis</i> finale Pf	Taux de multiplication	
			Tm	INR (%)
Esson	1000	2880a	+1,8a	34,5a
Big Ebanga	1000	1007b	+0,01b	11,6b
Grande Naine	1000	2767a	+1,8	36,7a

Dans une même colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne présentent pas de différence significative selon le test de Newman-Keuls au seuil 5%. T0 : plants non infectés et T1 : plants infectés. Pi : population initiale et Pf : population finale.

### 3.3. Évaluation de la teneur en phénols totaux des cultivars de bananier testés

Les données (Tableau 3) présentent les teneurs en composés phénoliques dans les racines des cultivars de bananiers plantain testés. Quatre vingt dix (90) jours après infection des plants par *R. similis*, les racines des cultivars de bananier non infectés ont présenté des concentrations en phénols totaux de  $340,3 \pm 42,6$ ;  $320,6 \pm 42,6$  et  $301 \pm 42,6$  chez *Big Ebanga*, *Essong* et Grande naine respectivement, contre  $465,0 \pm 42,6$ ;  $454,8 \pm 42,6$  et de  $441,6 \pm 42,6$  dans les racines des plants infectées. L'analyse de variance réalisée sur les valeurs moyennes de la concentration en phénols totaux a montré des différences significatives ( $P < 0,05$ ) entre les mesures obtenues dans les racines des plants infectés et celles des plants non infectés. Bien qu'aucune différence significative ( $P > 0,05$ ) n'a été observée entre les valeurs moyennes des teneurs en phénols des cultivars testés, la quantité de phénols chez le cultivar *Big Ebanga* était plus élevée par rapport aux cultivars *Essong* et Grande naine. Les plus faibles concentrations de phénols ont été enregistrées chez le cultivar Grande naine (Tableau 3).

**Tableau 3.** Teneurs en composés phénoliques totaux des cultivars bananiers testés.

Traitements	Cultivars			Moyenne
	Big Ebanga	Essong	Grande Naine	
T1	$465,0 \pm 42,6$	$454,8 \pm 42,6$	$441,6 \pm 42,6$	$453,8 \pm 42,6a$
T0	$340,3 \pm 42,6$	$320,6 \pm 42,6$	$301,0 \pm 42,6$	$320,6 \pm 42,6b$
Moyenne	$402,5 \pm 42,6a$	$387,7 \pm 42,6a$	$371,3 \pm 42,6a$	

Les moyennes  $\pm$  erreurs standards ayant les mêmes lettres dans la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Student – Newman-Keuls. T0 : plants non infectés et T1 : plants infectés.

### 3.4. Effet des formulations de graines de neem sur la réduction de la population de *R. similis*, trois mois après plantation

Trois mois après plantation, les traitements aux formulations de graines de neem ont significativement ( $P < 0,05$ ) réduit la population de *R. similis* comparativement aux valeurs obtenues lors de l'évaluation du niveau initial d'infestation des sites expérimentaux. L'analyse de variance réalisée sur les moyennes de la population de *R. similis* par 100 g de racines fraîches des cultivars de bananier plantain testés, n'a montré aucune différence significative ( $P > 0,05$ ) entre les valeurs obtenues sur les deux sites d'études. De même, dans chaque site d'étude, aucune différence significative ( $P > 0,05$ ) n'a été enregistrée entre les moyennes de la population de *R. similis* par 100 g des racines fraîches obtenues chez les deux cultivars de bananier plantain testés (Tableau 4). Cependant, sur les deux sites expérimentaux, l'analyse de variance réalisée sur les moyennes de la population de *R. similis* par 100 g de racines fraîches des cultivars de bananier plantain testés, a montré des différences significatives ( $P < 0,05$ ) entre les valeurs obtenues dans les racines des plants traités à la PGN et aux EA et celles obtenues dans les racines des plants traités aux EO et aux HN. Une différence significative ( $P < 0,05$ ) a été enregistrée entre les moyennes de la population de *R. similis* par 100 g de racines fraîches des deux cultivars traités à la PGN et aux EA et celles obtenues dans les racines des plants traités au Carbofuran. Sur chaque site expérimental, la population de *R. similis* a été moins nombreuse dans les racines récoltées sur les parcelles traitées au Carbofuran. Par contre sur les parcelles témoins (T0), la population de *R. similis* a été la plus nombreuse chez les deux cultivars de bananier plantain testés (Tableau 4).



**Tableau 4.** Effet des formulations de graines de neem sur la population de *R. similis*, 3 mois après la plantation.

Sites	Cultivars	Traitements						M1	M2
		PGN	EA	EO	HN	T0+	T0-		
Mbankomo	Essong	102	221	211	302	17	1600	408,8b	391,5b
	Big Ebanga	98	233	223	204	15	1472	374,2b	
Ndimi	Essong	92	98	209	227	11	1331	328,0b	299,8b
	Big Ebanga	94	88	207	221	12	1007	271,5b	
M3		96,5c	160c	212,5b	238,5b	13,8d	1352a		

Dans une même colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne présentent pas de différence significative selon le test de Newman-Keuls au seuil 5 %. PGN : poudre de graines de neem, EA : extrait aqueux, EO : extrait organique, HN : huile de neem, T0<sup>+</sup> : carbofuran et T0<sup>-</sup> : témoin. M1 : moyennes cultivars, M2 : moyennes sites, M3 : moyennes traitements.

### 3.5. Effet des formulations de graines de neem sur la population de *R. similis*, à la récolte

À la récolte, par rapport aux valeurs obtenues dans les racines des plants témoins, les formulations de graines de neem ont eu un effet positif dans la réduction de la population de *R. similis* (Tableau 5). L'analyse de variance réalisée sur les moyennes de la population de *R. similis* chez les deux cultivars de bananier plantain testés, a montré des différences significatives ( $P < 0,05$ ) entre les valeurs obtenues sur les deux sites expérimentaux. Par contre, dans chaque site expérimental, aucune différence significative ( $P > 0,05$ ) n'a été enregistrée entre les moyennes de la population de *R. similis* obtenues dans les racines des deux cultivars de bananier plantain testés (Tableau 5). Dans les deux sites d'étude, l'analyse de variance réalisée sur les moyennes de la population de *R. similis* par 100 g des racines fraîches des deux cultivars de bananier plantain testés a montré des différences significatives ( $P < 0,05$ ) entre les valeurs obtenues dans les racines des plants traités aux formulations de graines de neem (PGN, EA, EO et HN) et celle obtenue dans les racines des plants traités au Carbofuran. Une différence significative ( $P < 0,05$ ) a été enregistrée entre les moyennes de la population de *R. similis* par 100 g de racines des plants des deux cultivars traités aux formulations de graines de neem (PGN, EA, EO et HN) et celles obtenues chez les plants non traités (témoins) (Tableau 5). En général, le traitement au Carbofuran a été le plus efficace dans la réduction de la densité de *R. similis* dans les racines des cultivars. L'augmentation de la population de *R. similis* était plus considérable dans les parcelles témoins.

**Tableau 5.** Effet des formulations de graines de neem sur la population de *R. similis*, à la récolte.

Sites	Cultivars	Traitements						M1	M2
		PGN	EA	EO	HN	T0+	T0-		
Mbankomo	Essong	763	1002	986	932	608	6560	1808,5a	1721,9a
	Big Ebanga	739	1036	966	912	556	5602	1635,2a	
Ndimi	Essong	702	703	686	601	357	5331	1396,7b	1373b
	Big Ebanga	814	623	516	553	383	5207	1349,3b	
M3		754,5b	841b	788,5b	749,5b	476c	5675a		

Dans une même colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne présentent pas de différence significative selon le test de Newman-Keuls au seuil 5 %. PGN : poudre de graines de neem, EA : extrait aqueux, EO : extrait organique, HN : huile de neem, T0<sup>+</sup> : carbofuran et T0<sup>-</sup> : témoin. M1 : moyennes cultivars, M2 : moyennes sites et M3 : moyennes traitements.



### 3.6. Effet des formulations des graines de neem sur le rendement en plantain

À la récolte, les traitements aux formulations des graines de neem ont positivement influencé la productivité des cultivars de bananiers plantains testés (Tableau 6). L'analyse de variance a montré que la moyenne des rendements obtenue dans les parcelles traitées à la PGN était significativement différente ( $P < 0,05$ ) et plus élevée comparativement aux valeurs enregistrées dans les parcelles traitées aux EA, EO, HN et au  $T0^-$ . Une différence significative ( $P < 0,05$ ) a été enregistrée entre les rendements moyens obtenus chez les plants traités aux EA, EO, HN et au  $T0^+$  et celui obtenu chez les plants témoins ( $T0^-$ ) (Tableau 6). L'effet positif des formulations de graines de neem sur le rendement en plantain (t/ha) chez les deux cultivars de bananier plantain testés a été plus visible à Ndimi qu'à Mbankomo, bien qu'aucune différence significative ( $P > 0,05$ ) n'a été enregistrée entre les valeurs obtenues dans les deux sites. De même, dans chaque site d'étude, aucune différence significative ( $P > 0,05$ ) n'a été enregistrée entre les moyennes de mesures des rendements (t/ha) obtenues chez les deux cultivars de bananier plantain testés (Tableau 6).

**Tableau 6.** Effet des formulations de graines de neem sur le rendement en plantain (t/ha).

Sites	Cultivars	Traitements						M1	M2
		PGN	EA	EO	HN	T0+	T0-		
Mbankomo	Essong	18,3	14,3	15,0	14,8	15,4	4,6	13,7a	13,5a
	Big Ebanga	18,2	14,0	13,8	14,1	14,6	4,8	13,3a	
Ndimi	Essong	20,1	16,0	15,3	16,0	16,0	5,7	14,8a	14,8a
	Big Ebanga	20,0	15,6	16,1	15,4	16,0	6,0	14,8a	
	M3	19,2a	15b	15,1b	15,1b	15,5b	5,4c		

Dans une même colonne, les moyennes suivies de la même lettre ne présentent pas de différence significative selon le test de Newman-Keuls au seuil 5 %. PGN : poudre de graines de neem, EA : extrait aqueux, EO : extrait organique, HN : huiles de neem,  $T0^+$  : carbofuran et  $T0^-$  : témoin. M1 : moyennes cultivars, M2 : moyennes sites et M3 : moyennes traitements.

## 4. Discussion

Le nématode endoparasite *R. similis* est considéré comme l'un des principaux parasites des bananiers plantains (Sarah, 1990 ; Gowen et al., 2005). En raison de leur extrême résistance, de leur grande variabilité physiologique et de leur vie souterraine, il est très difficile de le combattre. Au Cameroun, les pratiques culturales (utilisation des variétés résistantes, rotations, longues jachères, déforestations pour une mise en culture de terres neuves, etc.) et les moyens physiques (solarisation, désinfection à la vapeur, inondation des sols infestés) ne sont pas accessibles aux paysans faute des moyens financiers, des terres neuves, des plants indemnes de nématodes et des variétés résistantes. Quand à la lutte chimique, elle reste polluante, onéreuse et contraignante. Face à cette situation, le présent travail révèle le degré de sensibilité de deux cultivars locaux de bananier plantain *Essong* et *Big Ebanga* à *R. similis* et a permis de mettre en évidence les effets de formulations des graines de neem dans la lutte contre le nématode *R. similis*, parasite de bananier plantain au Cameroun.

La régression des paramètres de croissance, suite à l'infection des plants des cultivars de bananiers plantains par les nématodes *R. similis*, est liée à la destruction des tissus des parties souterraines de la plante observée au niveau des racines. Ces résultats corroborent ceux des travaux antérieurs obtenus par Sarah et al. (1996) et Van den Bergh et al. (2000), qui avaient montré dans un essai que la destruction des tissus souterrains entraînait une réduction de la nutrition hydrique et minérale, ce qui se traduit par un ralentissement de la croissance et du développement des plants de bananiers plantains. L'augmentation du pourcentage des indices de nécroses racinaires, suite à l'infection des plants de bananiers par *R. similis* peut être expliquée par la formation des nécroses racinaires caractéristiques de ce nématode. Par

ailleurs, Guedira et al. (2004) avaient observé des résultats similaires lors d'un test d'évaluation de la résistance à deux nématodes *R. similis* et *Meloidogyne* spp. chez quatre génotypes de bananiers au Maroc. Les plus grands pourcentages des indices de nécroses racinaires et du taux de multiplication de nématode *R. similis* obtenus chez les cultivars Grande naine et *Essong*, montrent la forte sensibilité de ces cultivars vis-à-vis de *R. similis*. Ces résultats confirment les travaux de plusieurs auteurs à savoir Speijer et De Waele (1997), Duong Thi Minth et al. (2002). Selon ces auteurs, lorsqu'une variété est sensible à une espèce de nématode et qu'en présence de ce dernier, la population augmente, des nécroses apparaissent au niveau des racines. De plus, selon Sarah et al. (1996), les nécroses atteignent en très peu de temps le cylindre central, entraînant très rapidement la destruction et la mort de la racine (Guedira et al., 2004). Considérant que le nombre de nématodes détectés dans les racines des plants infectés par *R. similis* était relativement élevé, et que cela semblait affecter directement les autres paramètres mesurés, on peut penser que, dans ce travail, les cultivars locaux de bananiers plantains *Essong* et *Big Ebanga* testés présentent une sensibilité vis-à-vis de *R. similis* au même titre que le cultivar de référence Grande naine. Le niveau élevé des teneurs en composés phénoliques totaux obtenu dans les racines des plants infectés et celui relativement bas dans les racines des plants non infectés, pourrait s'expliquer certainement par une sécrétion supplémentaire de ces composés lors des mécanismes de défense de la plante suite à l'infection de celle-ci par *R. similis*. Selon Wuyts (2006), les variétés de bananier résistantes aux nématodes contiennent plus de composés phénoliques que les variétés sensibles.

Au cours de cette étude, nous avons pu prouver que toutes les formulations de graines de neem, dans le cas d'une application directe, exercent un effet nématicide. L'utilisation de nématicide naturel comme les formulations de graines de neem, comparé aux nématicides de synthèses est économique et à la portée des paysans. De plus, de nombreuses études ont été menées dans plusieurs pays sur la possible toxicité du neem. Ces études ont montré que les feuilles, les graines et l'écorce de neem ont une très faible toxicité pour les mammifères (Chatopadhyay et al., 1992). Biswas et al. (2002) ont montré dans des tests de toxicité aigus sur les souris que l'extrait méthanolique d'écorce de neem présente une LD50 pour une injection orale de 13 g/kg. Panda et Kar (2000) ont également étudié l'effet d'extrait de feuilles de neem sur les fonctions thyroïdiennes des souris mâles. Ils ont étudié l'effet de deux doses différentes d'extraits de feuilles de neem (40 et 100 mg/kg/jour) pendant 20 jours. Les extraits d'huile de neem sont inoffensifs à des doses faibles (Talwar et al., 1995). Le neem est un excellent antiparasitaire qui contient des métabolites secondaires tels que les triterpènes, les alcaloïdes, les saponines et les stéroïdes (Gommers, 1981). La grande activité nématicide observée avec les traitements à la poudre des graines de neem, aux huiles de neem, aux extraits organiques et aqueux de graines de neem est potentiellement due à la présence de ces métabolites secondaires qui ont des propriétés nématicides et/ou nématostatiques (Gommers 1981 ; Kapil et al., 1994). Nos résultats sont conformes à ceux de Akhtar (1998), Lale, Abdulrahman (1999), Siddiqui, Akhtar (2008) qui ont respectivement étudié les effets de certains sous-produits du neem sur le développement des nématodes *Meloidogyne* spp. du pois chiche, de la dolique et de la tomate en sol infesté par plusieurs populations de ces nématodes. En effet, il a été montré que certains organes du neem inhibent le développement des nématodes (Akhtar, 1998). Cependant, en dépit d'une activité nématicide variable d'une formulation à l'autre, les capacités destructrices et reproductrices des nématodes étaient fortement altérées lorsque ceux-ci étaient soumis aux traitements avec la poudre de graines de neem à l'état brut. Ces résultats corroborent ceux des travaux antérieurs de Musabyimana et Saxena (1999) dont l'objectif était de déterminer l'efficacité de formulations de graines de neem contre les nématodes *Pratylenchus goodeyi* et *Meloidogyne* spp. affectant les plants de bananier plantain. Le niveau plus élevé de l'activité biologique de la poudre des graines de neem résulterait probablement de la présence de certains métabolites secondaires qui pourraient être soit absents ou alors présents, mais en concentration subléthale dans les autres formulations (Akhtar, 1998).

## 5. Conclusion

L'objectif principal de ce travail était d'évaluer la sensibilité de cultivars *Essong* et *Big Ebanga* à *R. similis* et l'effet nématicide des formulations de graines de neem (FGN) dans la protection des bananeraies au Cameroun. Au regard des résultats obtenus suite à l'infection des plants par les nématodes *R. similis* et sur la base d'une évaluation de la sensibilité des variétés de bananiers à *R. similis* telle que définie par Speijer et De Waele (1997), il apparaît que les deux cultivars de bananier plantain *Essong* et *Big Ebanga* sont sensibles à *R. similis*. Par ailleurs, bien que les deux cultivars locaux soient sensibles au nématode *R. similis*, comparativement au cultivar de référence Grande naine, le cultivar *Essong* apparaît plus sensible à *R. similis* que le cultivar *Big Ebanga*. Ces résultats sont importants surtout pour les sélectionneurs et les petits producteurs de la banane plantain qui, vu l'importance alimentaire et économique des cultivars *Essong* et *Big Ebanga*, les préfèrent aux autres cultivars locaux, malgré généralement des faibles rendements obtenus. Ainsi pour une meilleure productivité de ces cultivars locaux, et vu leur niveau de vulnérabilité à *R. similis*, l'association dans leurs itinéraires de culture, des méthodes de lutte contre ce nématode, principal ravageur de bananiers plantains serait nécessaire.

Nos résultats montrent bien l'efficacité de formulations de graines de neem contre le nématode *R. similis*, principal ravageur de bananier plantain au Cameroun. Ainsi donc, le niveau élevé de l'activité biologique de graines de neem suggère que celles-ci pourraient être utilisées comme substrat de base pour la formulation des nématicides, pourvoyant ainsi une alternative durable contre les nématodes du bananier plantain en champ. Les résultats de cette étude sont d'une très haute importance pour les petits producteurs de bananier plantain qui ne sont pas toujours capables de maîtriser les techniques impliquées dans les opérations d'extraction et peuvent avoir des difficultés à accéder à des produits commerciaux. Compte tenu des préoccupations actuelles, l'utilisation de formulations de graines de neem peut constituer une alternative intéressante et prometteuse pour l'agriculture camerounaise.

## Bibliographie

- Akhtar M., 1998. Biological control of plant-parasitic nematodes by neem products in agricultural soil. *Applied of Soil Ecology*, **7**, 219-223.
- Ambang Z., Ndongo B., Ngoh Dooh J.P., Djilé B., 2005. Effet des extraits des graines du laurier jaune (*Thevetia peruviana* Pers) sur les charançons (*Sitophilus zeamais* Motsch), ravageur des stockées. *Biosciences Proceedings*, **11**, 57-63.
- Aubertot J.N. et al., 2005. *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux*. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref, France, 64 p.
- Bhandri P.R., Mukerji B., 1959. The neem: Indian lilac (*Azadirachta indica*). *The Eastern Pharmacist*, **2**, 21-24.
- Biswas K., Chattopadhyay I., Banerjee R.K., Bandyopahyay U., 2002. Biological activities and medicinal properties of neem (*Azadirachta indica*). *Current Science*, **82**, 1336-1345.
- Bridge J., Nigel S.P., Kofi P., 1995. Plant parasitic nematodes of plantain and other crops in Cameroon West Africa. *Fundamental and Applied Nematology*, **18**, 251-260.
- Chabrier C., Quénéhervé P., 2003. Control of the burrowing nematode *Radopholus similis*(Cobb) on banana: impact of the banana field destruction method on the efficiency of the following fallow. *Crop Protection*, **22**, 121-127.
- Chabrier C., Hubervic J., Jules-Rosette R., Quénéhervé P., 2005. Évaluation de l'efficacité de deux formulations d'Oxamyl contre les nématodes et le charançon des bananiers à la Martinique. *Nematropica*, **35**, 11-22.

- Chattopadhyay R.R., Sarkar S.K., Ganguly S., Banerjee R.N., 1992. Active effects of *Azadirachta indica* leaves on some biochemical constituents of blood in rats. *Sciences and Culture*, **58**, 39-40.
- De Maeseneer J., D'Herde C.J., 1963. Méthodes utilisées pour l'étude des anguillules libres du sol. *Revue Agriculture*, **16**, 441-447.
- Duong Thi Minth N.A., Nguyen Thi Tuyet E., De Waele D., 2002. Réponse des plantes-hôtes de bananiers Pisang jari buaya et Mysore à *Radopholus similis*. *Infomusa*, **11**, 19-21.
- Dury S., Bricas N., Tchango-Tchango J., Temple L., Bikoï A., 2002. The determinant of urban plantain consumption in Cameroon. *Food Quality and Preferences*, **32**(3), 81-88.
- Fogain R., 2000. Effect of *Radopholus similis* on plant growth and yield of plantains (*Musa* AAB). *Nematology*, **2**, 129-133.
- Gommers F.J., 1981. Biochemical interactions between nematodes and plants and their relevance to control. *Helminthology*, **50**, 9-24.
- Gowen S.R., Quénéhervé P., Fogain R., 2005. Nematode Parasites of Bananas and Plantains. In: Luc M., Sikora R.A., Bridge J. (eds). *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture*. CAB International, Wallingford, UK, p. 611-643.
- Guedira A. et al., 2004. Évaluation de la résistance à deux nématodes : *Radopholus similis* et *Meloidogyne* spp. chez quatre génotypes de bananier au Maroc. *Comptes-Rendus Biologie*, **327**, 745-751.
- Harish M., Gowda N.D., 2001. Management of the burrowing nematode, *Radopholus similis* (Cobb) Thorne, infesting banana. *Indian Journal of Nematology*, **31**, 23-25.
- Honfo F.G., Polycarpe K., Ayode A.P., Coulibaly O., Tenkoumo A., 2007. Relative contribution of banana and plantain products to the nutritional requirements for iron, zinc, and vitamin A of infants and mothers in Cameroon. *Fruits*, **62**(5), 267-277.
- Hooper D.U. et al., 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, **75**, 3-35.
- Ioannina O.G., Dimitrios G.K., Demetra P.A., 2004. A novel non-chemical nematicide for the control of root-knot nematodes. *Applied Soil Ecology*, **26**, 69-79.
- Jacobsen K., Fogain R., Mouassom H., De Waele D., 2004. Musa-based cropping systems of the Cameroon highlands: A case study of the West and North West provinces of Cameroon with emphasis on nematodes. *Fruits*, **59**(5), 311-318.
- Janese L., Belcher L., Hussay R.S., 1997. Influence of *Tagetes patula* and *Arachis hypogaea* on *Meloidogyne incognita*. *Plant Disease Reporter*, **61**, 17-27.
- Javed N., Gowena S.R., El-Hassana S.A., Inam-ul-Haqa M., Shahinab F., Pembroke B., 2008. Efficacy of neem (*Azadirachta indica*) formulations on biology of root-knot nematodes (*Meloidogyne javanica*) on tomato. *Crop Protection*, **27**, 36-43.
- Jothi G., Babus S.R., Ramakrishnan S., Rjeandran G., 2004. Management of root lesion nematode, *pratylenchus delattre* in crossandra using oil cakes. *Bioresource Technology*, **93**, 257-259.
- Kapil A., Sharma S., Wahidulla S., 1994. Leishmanicidal activity of 2-Benzoxazolinone from *Acanthus illicifolius* in vitro. *Planta Medica*, **60**, 180-187.
- Kosma P. et al., 2011. Assessment of nematicidal properties and phytochemical screening of neem seed formulations using *Radopholus similis*, parasitic nematode of plantain in Cameroon. *Crop Protection*, **30**, 733-738.
- Lacher T.E., Mortensen S.R., Johnson K.A., Kendall R.J., 1997. Environmental aspects of pesticide use on banana plantations. *Pesticide Outlook*, **12**, 24-28.
- Lale N.S.E., Abdulrahman H.T., 1999. Evaluation of neem (*Azadirachta indica* A. Juss) seed oil obtained by different methods and neem powder for the management of *Callosobruchus maculatus* (F) (Coleoptera: Bruchidae) in stored cowpea. *Journal of Stored Products Research*, **35**, 135-143.
- Loubana P.M. et al., 2007. Study of genetic diversity of plant parasitic nematodes on bananas and plantains in central and west Africa. *Africa Crops Sciences Conference Proceedings*, **8**, 783-786.

- Lusty C., Akyeampong E., Davey M.W., Ngoh Newilar G., Markham R., 2006. A staple food with nutritious appeal. *Infomusa*, **15**(2), 39-43.
- Mengue E.C., Temple L., Tomekpe K., 2003. Sélection variétale par des producteurs du Centre du Cameroun. *Infomusa*, **12**(1), 4-8.
- Multigner L., Cordier S., Jégou B., 2005. Effets adverses des produits phytosanitaires sur la santé humaine. In : Regnault-Roger C., Fabres G., Philogène B. (eds). *Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement*. Lavoisier, Paris, 243-259.
- Musabyimana T., Saxena R.C., 1999. Efficacy of Neem Seed Derivatives against Nematodes Affecting Banana. *Phytoparasitica*, **27**, 43-49.
- Nasima I.A., Siddiqui I.A., Shaikat S.S., Zaki M.J., 2002. Nematicidal activity of some strains of *Pseudomonas* spp. *Soil Biology and Biochemistry*, **34**, 1051-1058.
- Ngoh N.G., Tchango Tchango J., Fokou E., Etoa F.X., 2005. Processing and food uses of bananas and plantains in Cameroon. *Fruits*, **60**(4), 245-253.
- Nkendah R., Akyeampong E., 2003. Données socioéconomiques sur la filière plantain en Afrique Centrale et de l'Ouest. *Infomusa*, **12**(1), 8-12.
- Okolle J.N., Fansi G.H., Lombi F.M., Sama Lang P., Loubana P.M., 2009. Banana entomological research in Cameroon: how far and what next. *The African Journal of Plant Science and Biotechnology*, **3**(1), 1-19.
- Orton Williams K.J., Siddiqui M.R., 1973. *Radopholus similis* C.I.H. *Description of Plant-Parasitic Nematodes*. Set 2, No. 27. Commonwealth Institute of Helminthology, St. Albans, Herts, UK, 4 p.
- Panda S., Kar A., 2000. How safe is Neem extract with respect to thyroid function in male mice. *Pharmacological Research*, **41**, 419-422.
- Quénéhervé P., 2008. Integrated management of banana nematodes. In: Ciancio A., Mukerji K.G. (eds). *Integrated management of fruit crops nematodes*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, p. 1-54.
- Ravi K., Nanjgowda D., Reddy P.P., 2000. Integrated management of the burrowing nematode, *Radopholus similis* (Cobb) Thorne, on banana. *Pest Management Horticulture Ecosystem*, **6**, 124-129.
- Sarah J.L., 1989. Banana nematodes and their control in Africa. *Nematropica*, **19**, 199-216.
- Sarah J.L., 1990. Les nématodes et le parasitisme des racines de bananiers. *Fruits*, **45**, 60-67.
- Sarah J.L., Pinochet J., Stanton J., 1996. *Radopholus similis* Cobb, *nématode parasite des bananiers. Parasites et ravageurs des Musa. Fiche technique n°1*. INIBAP, Montpellier, France. [http://www.bioversityinternational.org/uploads/tx\\_news/The\\_burrowing\\_nematode\\_of\\_bananas\\_Radopholus\\_similis\\_129\\_FR.pdf](http://www.bioversityinternational.org/uploads/tx_news/The_burrowing_nematode_of_bananas_Radopholus_similis_129_FR.pdf)
- Seinhorst J.W., 1966. Killing nematodes for taxonomic study with hot F.A. *Nematologica*, **12**, 178.
- Siddiqui Z.A., Akhtar M.S., 2008. Effects of organic wastes, *Glomus intraradices* and *Pseudomonas putida* on the growth of tomato and on the reproduction of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Phytoparasitica*, **36**, 460-471.
- Singleton V.L., Ortofer R., Lamuela-Raventos R.M., 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, **299**, 152-178.
- Speijer P.R., De Waele D., 1997. *Guides techniques INIBAP. 1. Évaluation du matériel génétique de Musa pour la résistance aux nématodes*. Réseau international pour l'amélioration de la banane et de la banane plantain, Montpellier, France. [http://www.bioversityinternational.org/fileadmin/user\\_upload/online\\_library/publications/pdfs/241\\_FR.pdf](http://www.bioversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/241_FR.pdf)
- Talwar G.P. et al., 1995. Safety of intrauterine administration of purified neem seed oil in women and effect of its co-administration with the heterospecies dimmer birth control vaccine on antibody response to human chorionic gonadotropin. *Indian Journal of Medical Research*, **102**, 66-70.
- Van den Bergh I. et al., 2000. Évaluation en serre de la résistance/tolérance de matériel génétique vietnamien aux nématodes à galles et à lésions. *Infomusa*, **9**, 8-11.
- Wuyts N., 2006. Interactions entre les nématodes parasites des plantes et le métabolisme secondaire des plantes, avec une emphase sur les phénylpropanoïdes dans les racines. *Infomusa*, **15**, 43-44.



## Détermination du point de coupe optimal des fruits des hybrides de bananiers plantains PITA 3, PITA 8 et des variétés de bananiers plantains *Lorougnon* et *Corne 1*

Ocho-Anin Atchibri L., Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire,  
E-mail : aninatchibri@yahoo.fr  
Kouadio Kouakou K.A., Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire,  
E-mail : K3armand@yahoo.fr  
Gnakri Dago, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire  
Coulibaly S., Centre National de Recherche Agronomique, Côte d'Ivoire

### Résumé

Dans les pays producteurs de bananes plantain, l'inexistence des techniques efficaces de prise en charge des produits récoltés occasionne d'importantes pertes. En Côte d'Ivoire les pertes post-récolte sont estimées à 40%. Ces pertes sont dues aux récoltes précoces ou tardives. L'objectif a été de déterminer le point de coupe optimal des fruits des nouveaux hybrides de bananiers PITA 3, PITA 8, des variétés *Lorougnon* (*Musa* spp.) et *Corne 1*.

La détermination du point de coupe des fruits s'est faite sur la base des indices biochimiques. Les résultats montrent que le point optimal des fruits des hybrides se situe au 79<sup>e</sup> jour et celui des variétés *Lorougnon* et *Corne 1* se situe au 65<sup>e</sup> jour après l'émission florale. La durée de vie verte pour les hybrides est de 14 jours et pour les variétés 12 jours récoltés à la maturité physiologique. Par contre, celle des fruits de maturité physiologique tardive varie entre 4 et 7 jours.

L'identification d'un point optimal de coupe pourrait assurer cette durée de vie verte plus longue et garantir la qualité du fruit. Les propriétés physico-chimiques de l'amidon (gonflement et solubilité) ne montrent aucune différence entre les fruits de maturité physiologique précoce et tardive.

### Determination of optimal cutting points of fruits for plantain hybrids PITA 3, PITA 8 and varieties *Lorougnon* and *Horn 1*

In producing countries of plantain, the lack of effective technical support of products harvested causes important loss. In Côte d'Ivoire, post-harvest losses are estimated at 40%. These losses are due to early or late crops. The objective was to determine the optimal point of cutting fruits of new banana PITA 3 PITA 8 varieties *Lorougnon* (*Musa* spp.) and *Horn 1*. The determination of optimal cutting fruit is made according to the method based on the identification of biochemical indices. The results show that the optimal point of fruit hybrids is located at the 79<sup>th</sup> day and for the varieties *Lorougnon* and *Horn 1* at the 65<sup>th</sup> day after the flower show. The durations of green living are between 12 and 14 days for fruit hybrids and 12 days for varieties. For the fruit of late physiological maturity, it vary between 4 and 7 days. The identification of an optimal point cut could provide this life green longer and ensure the quality of the fruit. The physicochemical properties of starch, swelling and solubility, showed no difference between early and late fruit physiological maturity.

## 1. Introduction

Les bananes plantains sont des musacées cultivées essentiellement pour leurs fruits et contribuent à la sécurité alimentaire (Temple et al., 2001 ; Nkendah, 2001). Ces fruits constituent la base alimentaire essentielle pour les populations de l'Est et du Sud de la Côte d'Ivoire (N'guessan et al., 1993). En Côte d'Ivoire, leur production est estimée à 1,6 million de tonnes et représente

par ailleurs le deuxième produit vivrier le plus important après l'igname (FAO, 2011). La banane se consomme sous forme de 20 mets différents (Coulibaly, 2008). Malgré son importance dans la production ivoirienne, la filière banane plantain connaît des pertes importantes par avaries (40%) entre la plantation et la vente au détail (Agbo, Soumanou, Yao, 1996). Ces pertes tiennent à différents facteurs : le point de coupe, la collecte difficile, la conservation limitée, les circuits de commercialisation défectueux (Mosso et al., 1990; N'guessan et al., 1993).

La détermination du point de coupe des bananes plantains s'avère nécessaire selon Gnakri et Kamenan (1990). En effet, le point de coupe des fruits de la banane plantain influe considérablement sur la vie verte, ou aptitude du fruit à être conservé pendant une longue période, et sur sa qualité gustative finale. Car tout fruit, s'il est récolté au moment optimal, développe pleinement pendant le stockage la saveur, la saveur et la couleur qui lui sont caractéristiques. Par contre les fruits récoltés à un stade de point de coupe précoce sont davantage susceptibles de flétrir et de subir des dommages mécaniques; ils sont de qualité médiocre lorsqu'ils mûrissent, bien qu'ils se conservent longtemps (Gnakri, Kamenan, 1990; Kader 1997). Le degré de maturité à la récolte est un facteur important qui affecte la perception de la qualité et l'évolution de la qualité pendant les opérations post-récolte. Si l'on connaît le stade de maturation d'un nouvel hybride de *Musa*, il doit être possible de programmer efficacement la récolte et le conditionnement.

En Côte d'Ivoire, le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) a mis au point et développé des hybrides de bananes plantains performants et à bon rendement. Cependant, ces hybrides bien que performants connaissent des pertes de production pouvant aller jusqu'à 40% (Chataignier, Kouadio, 1980; Agbo et al., 1996) principalement dues aux récoltes précoces ou tardives.

Il convient donc d'identifier des indices de maturité pour les nouveaux hybrides de bananiers plantains, afin d'assurer qu'ils parviennent aux consommateurs avec une qualité gustative optimale et de disposer de la flexibilité requise pour la commercialisation.

Notre étude a pour objectif général de déterminer le point de coupe optimal des fruits des nouveaux hybrides de bananiers PITA 3, PITA 8, des variétés *Lorougnon* (*Musa ssp.*) et *Corne 1*. Plus spécifiquement, il s'agira de :

- déterminer le point optimal de coupe par indices biochimiques combinés à l'indicateur physique,
- évaluer les caractéristiques physiques, qualitatives, le gonflement et la solubilité de l'amidon des fruits de maturité physiologique précoce et celle de maturité tardive.

## 2. Matériel et méthodes

Les bananes plantains qui ont fait l'objet de notre étude proviennent des plantations d'expérimentation du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) d'Azaguié village situé à 50 km au nord d'Abidjan 5°38' N, 4°05'W. Ce sont les fruits des hybrides PITA 3, PITA 8 et les variétés *Lorougnon* et *Corne 1*. Ils ont été récoltés respectivement 114, 92 et 90 jours après l'émission florale.

### 2.1. Échantillonnage

Les prélèvements ont commencé un mois après l'émergence de l'inflorescence pour avoir assez de matières sèches pour les dosages. Sur le même régime, 3 doigts de bananes ont été prélevés dans la première et la deuxième main chaque semaine, cela pendant 14 semaines pour les fruits des hybrides de bananiers plantain (PITA 3 et PITA 8) et pendant 10 semaines pour les fruits de bananier plantain *Lorougnon* et *Corne 1*. Le prélèvement a été fait dans la matinée, le même jour et à la même heure.



## 2.2. Détermination de la période optimale de récolte par les paramètres biochimiques

La détermination de la période de coupe optimale des fruits de bananier a été faite selon la méthode de Gnakri et Kamenan (1990) basée sur l'identification des indices biochimiques tels la teneur en eau déterminée selon la méthode de Kushman et al. (1966), les teneurs en sucres totaux éthano-solubles selon la méthode décrite par Martinez-Herrera et al. (2006) et la teneur en amidon a été mesurée selon la méthode de Faithful (1990) modifiée par Abu El-Gasim et Abdaila (2007). Le test de gonflement et de solubilité a été effectué selon la méthode de Mestres et Rouau (1997).

## 2.3. Caractéristiques physiques et qualitatives

La masse du régime et du fruit (de chaque cultivar ou hybride) a été déterminée par des pesées sur une balance (Berkel : portée minimale 100 g et portée maximale 100 kg), le nombre de mains sur chaque régime a été compté, le nombre de doigts (par main) sur chaque régime a été déterminé. La longueur du fruit (cm) a été déterminée en mesurant l'arc externe de chaque fruit à l'aide d'un mètre ruban, depuis l'extrémité distale jusqu'à l'extrémité proximale, là où l'on juge que la pulpe se termine. La circonférence a été déterminée en mesurant chaque fruit à l'aide d'un mètre ruban dans sa partie médiane. Le volume du fruit a été déterminé par le déplacement direct de volume. Le poids de la pulpe et de la peau a été déterminé par la pesée des doigts pelés manuellement. La pulpe et la peau ont été pesées séparément sur une balance Berkel. La couleur de la peau et de la pulpe est évaluée par l'utilisation de l'échelle colorimétrique de la banane dessert définie par Wainwright et Hughes (1989; 1990). La fermeté de la pulpe a été déterminée à l'aide d'un pénétromètre selon la méthode décrite par Dadzié et Orchard (1997).

## 2.4. Analyses statistiques

L'analyse des résultats a été réalisée à l'aide du logiciel XLSTAT 7.5.3. La comparaison des moyennes a été faite selon le test de Duncan au seuil de 5%.

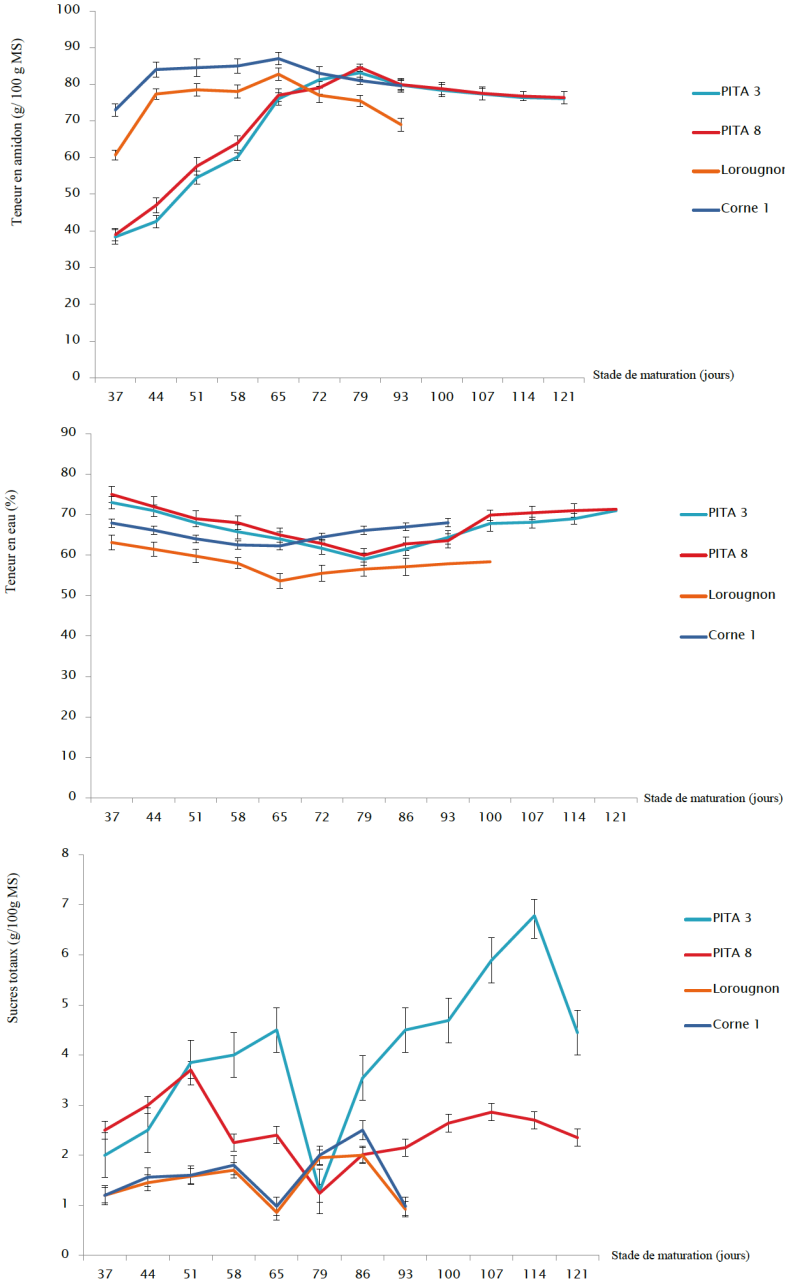
# 3. Résultats et discussion

## 3.1 Détermination de la maturité physiologique par indice biochimique

L'accumulation de l'amidon, la baisse de la teneur en eau de la pulpe et le processus de saccharification des oses servent d'indicateurs à la détermination du point optimal de coupe. Les évolutions des teneurs en amidon, en eau et en sucres totaux sont consignées dans les figures 1.1, 1.2 et 1.3. Au cours de la maturation, l'évolution de l'amidon dans les fruits (Figure 1.1) se déroule en deux phases. La première phase est caractérisée par une intense accumulation de l'amidon jusqu'à l'obtention d'un optimum suivie de la deuxième phase caractérisée par une baisse qui traduit une dégradation de l'amidon sous l'action des amylases. Quant à la teneur en eau, elle baisse jusqu'à un niveau minimal au cours de la maturation puis elle augmente (Figure 1.2).

On constate que la teneur en eau et celle de l'amidon sont en déphasage pendant une longue durée au cours de la maturation. Les deux teneurs atteignent un point de stabilité avant de s'inverser. Ce déphasage dans la première s'explique par le fait que l'eau se fixe au minéral pour donner la matière organique, ce qui entraîne la formation de l'amidon. Quand le maximum d'amidon se forme, on atteint un pic. Au cours de la maturation, les sucres se transforment en amidon, ce qui entraîne une diminution de la teneur en sucres lors du pic des teneurs en amidon.

Puis, l'amidon se dégrade alors que la teneur en saccharose augmente avec accumulation en sucres (Figure 1.3). L'augmentation de la teneur en sucres solubles et réducteurs au niveau de toutes les variétés de banane, pourrait s'expliquer par une dégradation de l'amidon contenu dans leur pulpe respective sous l'action des amylases. Des résultats similaires ont été obtenus par Gnakri et al. (1990), et par Collin et Dalnic (1991) sur le plantain *Orishele*.



**Figure 1.** Évolution des teneurs en sucres totaux des fruits des hybrides de bananier plantain PITA 3, PITA 8, la variété Lorougnon et la variété témoin Corne 1 en fonction des stades de maturation.

On constate que les pulpes des fruits de bananiers plantains grossissent. L'eau consommée entraîne la turgescence cellulaire.

Le pic de l'amidon, le niveau minimal de l'eau et du sucre déterminent la période optimale de coupe qui représente la maturité physiologique. Ainsi, la période optimale de coupe des hybrides PITA 3 et PITA 8 se situe au 79<sup>e</sup> jour après l'émission florale, alors que celui de la variété de banane plantain *Lorougnon* et le témoin *Corne 1* se situe au 65<sup>e</sup> jour après l'émission florale. Le stade optimal de coupe des hybrides PITA 3 et PITA 8 est différent de celui (68<sup>e</sup> jour) obtenu par Gnakri et Kamenan (1990) sur la variété *Orishele*. Mais en revanche, la période optimale de coupe de la variété de banane plantain *Lorougnon* et la banane plantain *Corne 1* est très proche de celui (68<sup>e</sup> jour) obtenu par Gnakri et Kamenan (1990) sur la variété *Orishele*. Cette différence nous montre que le point optimal de coupe des fruits de bananiers plantain dépend de la variété.

### 3.2. Caractéristiques physiques et qualitatives des fruits des hybrides et des variétés à la maturité physiologique et à la maturité traditionnelle

Les caractéristiques physiques des régimes et doigts des fruits de bananiers plantains à la maturité physiologique (récolte précoce) et coupe traditionnelle (récolte tardive) sont consignés dans le tableau 1. Les masses des régimes de bananiers plantains de stade physiologique sont faibles par rapport à celles des régimes récoltés plus tard. À la maturation physiologique, les masses des régimes varient entre 4,5 et 15 kg alors que celles des régimes de coupe traditionnelle sont comprises entre 5,7 et 18 kg. Mais, les régimes de maturation physiologique et de coupe traditionnelle du même hybride ou variété, présentent les mêmes nombres de mains et de doigts (Tableau 1).

Les fruits des hybrides de bananiers plantains PITA 3, PITA 8 et des variétés *Lorougnon* et *Corne 1* à la maturité physiologique ont des masses de doigts qui varient entre 154,3 et 220 g alors que celles des fruits de coupe traditionnelle varient entre 188 et 235,6 g (Tableau 1). Les fruits de la variété de bananier plantain *Corne 1* pèsent plus par rapport aux autres fruits. La masse moyenne des fruits de la variété *Corne 1* récoltés au stade physiologique (une semaine après le stade optimal de coupe) est de 220 g alors que celles des fruits des hybrides de bananiers plantains PITA 3 est de 182,1 g, PITA 8 de 186,5 g et de la variété de bananier plantain *Lorougnon* 154,3 g. La masse moyenne des fruits de la variété *Corne 1* (235,6 g) de récolte traditionnelle est supérieure à celles des fruits des hybrides de bananiers plantains PITA 3 (196,8 g), PITA 8 (200 g) et de la variété *Lorougnon* (188 g).

Les fruits de la maturité physiologique sont moins longs que ceux de coupe traditionnelle au seuil de 5 %. Les longueurs externes des fruits récoltés plus tôt varient entre 18 et 26,5 cm alors que celles des fruits récoltés plus tard sont comprises entre 20 et 29 cm. Les fruits de la variété *Corne 1* sont les plus longs et ceux de la variété *Lorougnon* sont les plus courts. Les longueurs externes des fruits des hybrides PITA 3 et PITA 8 sont identiques (Tableau 1).

Les circonférences des fruits à la maturité physiologique sont inférieures à celles des fruits de coupe traditionnelle. Les circonférences des fruits de maturité physiologique précoce varient entre 35 et 40 mm alors que celles des fruits de maturité physiologique tardive sont comprises entre 40,4 et 44,5 mm. Les fruits de l'hybride PITA 8 possèdent les circonférences les plus élevées alors que celles des fruits de la variété *Lorougnon* sont les plus petites. Les circonférences des fruits de l'hybride PITA 3 et du témoin *Corne 1* sont identiques au seuil de 5 % (Tableau 1).

Les fruits de bananiers plantains récoltés plus tôt sont moins volumineux que ceux récoltés plus tard. Les volumes des fruits récoltés plus tôt varient entre 178 et 230 cm<sup>3</sup>. Cette variation des volumes des fruits de maturité physiologique est inférieure à celle des fruits de maturité tardive ([198,6 ; 243 cm<sup>3</sup>]). Les fruits de la variété *Corne 1* sont les plus volumineux

**Tableau 1.** Caractéristiques physiques des régimes et des fruits des hybrides et les variétés de bananiers plantains de maturité physiologique et de coupe traditionnelle.

	Masse du régime (kg)	Nombre de mains	Nombre de doigts	Masse du fruit (g)	Longueur externe du fruit (cm)	Circonférence du fruit (mm)	Volume du fruit (cm <sup>3</sup> )	Densité du fruit	Masse de la pulpe (g)	Masse de la peau (g)	Épaisseur de la peau (cm)
PITA 3 MP	13 a	5 a	59 a	182,1±1,4a	22±1,2 a	38,5±1,6a	190,2±1,8a	0,9±0,1a	106±1,8a	55±1,3a	0,5±0,1a
PITA 3 CT	16 b	5 a	59 a	196,8±1,7b	26±1,19 b	42,7±1,3b	200,7±1,7b	1±0,0a	121,5±1,6b	69,7±1,6b	0,4±0,2a
PITA 8 MP	15 c	5 a	59 a	186,5±1,6c	22,6±1,3a	40±1,8c	195±1,9c	0,9±0,3a	111,1±1,7c	60±0,1c	0,5±0,1a
PITA 8 CT	18 d	5 a	59 a	200±1,9d	26,5±1,5b	44,5±1,7d	203±1,2d	1±0,1a	124,6±1,7d	73,5±1,6d	0,4±0,1a
<i>Lorougnon</i> MP	4,5 e	10 a	30 b	154,3±1,8e	18±1,1c	35±1,1e	178±1,5e	0,9±0,3a	109,1±1,4e	43±1,4e	0,5±0,2a
<i>Lorougnon</i> CT	5,7 f	10 a	30 b	188±0,0f	20±1,8d	40,4±1,9f	198,6±1,9f	0,9±0,1a	125,7±1,3f	60,1±1,6f	0,4±0,1a
<i>Corne 1</i> MP	6,5 g	5 a	22 c	220±1,5g	26,5±1,6e	39±1,5a	230±1,8g	0,9±0,3a	131,8±1,8g	67,5±1,8g	0,5±0,1a
<i>Corne 1</i> CT	8 h	5 a	22 c	235,6±1,4h	29±1,8f	43±1,9b	243±1,5h	1±0,2a	147,2±1,7h	82,1±0h	0,4±0,1a

MP : Maturité physiologique ; CT : Coupe traditionnelle.  
 Les valeurs d'une même colonne suivies de lettres différentes présentent des différences significatives ( $p < 0,05$ ). Chaque valeur est la moyenne des résultats obtenus sur 3 déterminations ± écart type de cette moyenne.

alors que ceux de la variété *Lorougnon* sont les moins volumineux. Les fruits de l'hybride PITA 3 et PITA 8 présentent des volumes différents au seuil de 5%.

Les masses des pulpes des fruits de stade physiologique sont inférieures à celles des fruits de récolte traditionnelle. Les masses des pulpes des fruits de maturité physiologique précoce varient entre 112,1 et 131,8 g. Cette variation des masses des pulpes des fruits récoltés plus tôt est inférieure à celle des pulpes des fruits récoltés plus tard ([125,7 ; 147,2 g]) au seuil de 5% (Tableau 1).

Les peaux des fruits de bananiers à la maturité physiologique pèsent moins que celles des fruits de récolte traditionnelle. Les masses des peaux des fruits de maturité physiologique précoce varient entre 43 et 67,5 g alors que celles des peaux des fruits de maturité physiologique tardive sont comprises entre 60,1 et 82,1 g (Tableau 1).

Les peaux des fruits récoltés plus tôt possèdent des épaisseurs sensiblement égales à celles des peaux des fruits récoltés plus tard au seuil de 5% (Tableau 1). Les masses des régimes des fruits des hybrides de bananiers plantains PITA 3 et PITA 8 de stade physiologique sont par ailleurs supérieures à celles des régimes de récolte traditionnelle des bananiers plantains *Africa* (11, 8 kg) et *Dominico Hartón* (15,4 kg) obtenues par Quintero et Aristizábal (2003).

Les nombres de mains des régimes des hybrides de bananiers plantains PITA 3, PITA 8 et de la variété *Corne 1* sont inférieurs à ceux des régimes des hybrides CRBP 39 (nombre moyen de mains : 7,54) et des variétés *French clair* (nombre moyen de mains : 7,16) obtenus par Quintero et Aristizábal (2003).

Les nombres de doigts des régimes de bananiers plantains étudiés sont inférieurs à ceux des régimes des hybrides CRBP 39 (nombre de doigts : 106) obtenus par Quintero et Aristizábal (2003), de la variété *French Amou Sombre* (nombre de doigts pouvant atteindre 101 à 142) obtenus par Sery (1983). En revanche, les nombres de doigts des régimes des hybrides de bananiers plantains PITA 3 et PITA 8 étudiés sont supérieurs à ceux des variétés *Orishele* (58 doigts) et variété *Corne 4* (39 doigts) obtenus par Sery (1983). Les nombres de doigts des régimes des variétés *Lorougnon* et *Corne 1* sont inférieurs à ceux des variétés *Orishele* et *Corne 4* obtenus par Sery (1983).

Les nombres de mains et de doigts des régimes des bananiers plantains peuvent être différents d'un cultivar à un autre (Anonyme, 2002).

Les masses des doigts des fruits de bananiers plantains de stade physiologique sont par ailleurs supérieures à celles de certains cultivars de récolte traditionnelle, c'est le cas de la variété *Amou* de 100 jours (96 g) (Gnakri, Kamenan, 1990). En plus, les fruits de la variété *Corne 1* récoltés plus tôt ont des masses supérieures à celles de l'hybride CRBP 39 de 6 mois après la plantation (192,30 g), de la variété *French clair* de 6 mois après la plantation (194,84 g), obtenues par Quintero et Aristizábal (2003).

Les fruits sont récoltés au stade de maturité physiologique et maturité tardive (coupe traditionnelle) et sont stockés. Les caractéristiques qualitatives sont rapportées dans le tableau 2. Pendant le stockage, les bananes restent fermes et vertes sans qu'aucun changement significatif n'intervienne dans la couleur ou la texture et la composition du fruit pendant une période de temps plus ou moins longue jusqu'à ce que les fruits commencent à mûrir. Cette période bien précise après la récolte, pendant laquelle les fruits demeurent verts et fermes est appelée stade pré-climatérique ou vie verte.

Les couleurs des pulpes et des peaux des fruits de maturité physiologique sont différentes de celles de coupe traditionnelle. Les couleurs de la pulpe et de la peau des fruits récoltés plus tôt sont respectivement ivoire et vert clair alors que celles des fruits récoltés plus tard sont jaune-ivoire et vert. Les couleurs des pulpes et des peaux des fruits de bananiers plantains étudiés de stade physiologique ont été observées par N'Da Adopo (1993) sur les fruits de la variété *Corne 1* (récoltés le 75<sup>e</sup> jour après la floraison).

Les fermetés des fruits de maturité physiologique sont différentes de celles de coupe traditionnelle au seuil de 5%. Les fermetés des fruits de maturité physiologique varient entre 13,3 et 15 N alors que celles des fruits de coupe ordinaire varient entre 17,1 et 19,9 N. Les fruits des hybrides de bananiers plantains PITA 3 et PITA 8 possèdent les fermetés les plus élevées. Les fermetés des fruits d'hybride sont statistiquement identiques. Les fermetés des variétés sont statistiquement identiques et les plus faibles. Les durées de vie verte des fruits de bananiers plantains PITA 3, PITA 8, variété *Lorougnon* et variété témoin *Corne 1* sont apportées dans le tableau 2.

Le choix des doigts récoltés une semaine après le point optimal de coupe s'explique par la durée accordée à l'amylolyse (processus de saccharification des oses) qui confère au fruit sa saveur caractéristique (Gnakri, Kamenan, 1990). Les fruits des hybrides de bananiers plantain PITA 3, PITA 8, des variétés *Lorougnon* et *Corne 1* de maturité physiologique présentent des durées de vie verte qui varient entre 12 et 14 jours alors que ceux de coupe traditionnelle ont des durées de vie verte comprises entre 5 et 7 jours (Tableau 2). Ces durées de vie verte des fruits de maturité physiologique ont été observées par Gnakri et Kamenan (1990) sur les fruits de la variété *Orishele* récoltés plus tôt à 72 jours, ces fruits sont restés verts pendant une dizaine de jours alors que ceux récoltés plus tard ont mûri 4 jours après la coupe. Les tests de conservation ont montré que les fruits de maturité physiologique précoce ont des durées de vie verte comprises entre 12 et 14 jours alors que celles des fruits de maturité physiologique tardive varient entre 4 et 7. La couleur de la peau et de la pulpe est fonction du mode de coupe. Les changements physiques et qualitatifs observés au cours de la maturation des fruits depuis la floraison jusqu'à la récolte tardive ont été aussi notés par Dadzie et Orchard (1997). Ces auteurs ont observé que les caractères physiques et qualitatifs étudiés évoluaient à mesure que le régime avançait en âge.

**Tableau 2.** Caractéristiques qualitatives des fruits des hybrides de bananiers plantain PITA 3, PITA 8 et des variétés *Lorougnon* et *Corne 1* de stade physiologique et de coupe traditionnelle.

Régime de banane plantain	Couleur de la peau	Couleur de la pulpe	Fermeté (N)	Durée de vie verte (jours)
PITA 3 MP	vert-clair	Ivoire	14,6 ± 1,3 a	14
PITA 3 CT	Vert	Jaune-ivoire	19,6 ± 1 b	7
PITA 8 MP	Vert-clair	Ivoire	15 ± 0,0 a	14
PITA 8 CT	Vert	Jaune-ivoire	19,9 ± 1,8 b	7
Lorougnon MP	Vert-clair	Ivoire	13,3 ± 1,4 c	12
Lorougnon CT	Vert	Jaune-ivoire	17,1 ± 1,9 d	4
<i>Corne 1</i> MP	Vert-clair	Ivoire	13,7 ± 1,7 c	12
<i>Corne 1</i> CT	Vert	Jaune-ivoire	17,6 ± 1,5 d	4

MP : Maturité physiologique ; CT : Coupe traditionnelle.

Les valeurs d'une même colonne suivies de lettres différentes présentent des différences significatives ( $p < 0,05$ ). Chaque valeur est la moyenne des résultats obtenus sur 3 déterminations ± écart type de cette moyenne.

Les doigts de fruits à la maturité physiologique ont des masses faibles mais cela n'empêche pas leur consommation selon Gnakri, Kamenan (1990). En effet, pour ces auteurs, l'attrait pour les grosses bananes plantains peut amener les consommateurs à se désister de l'achat de ces doigts mais cela ne constitue pas un véritable obstacle à la consommation de ceux-ci s'ils présentent des caractéristiques d'une banane plantain de pleine maturité.

### 3.3. Caractéristiques des amidons des fruits de bananier plantain

#### 3.3.1. Gonflement et solubilité

Le gonflement traduit la capacité d'absorption de la fraction d'amidon insoluble dans l'eau; il est exprimé en grammes d'eau absorbée par gramme d'amidon (Figure 2) et la solubilité est la quantité de matériel glucidique soluble à partir de l'amidon suspendu dans l'eau (Figure 3).

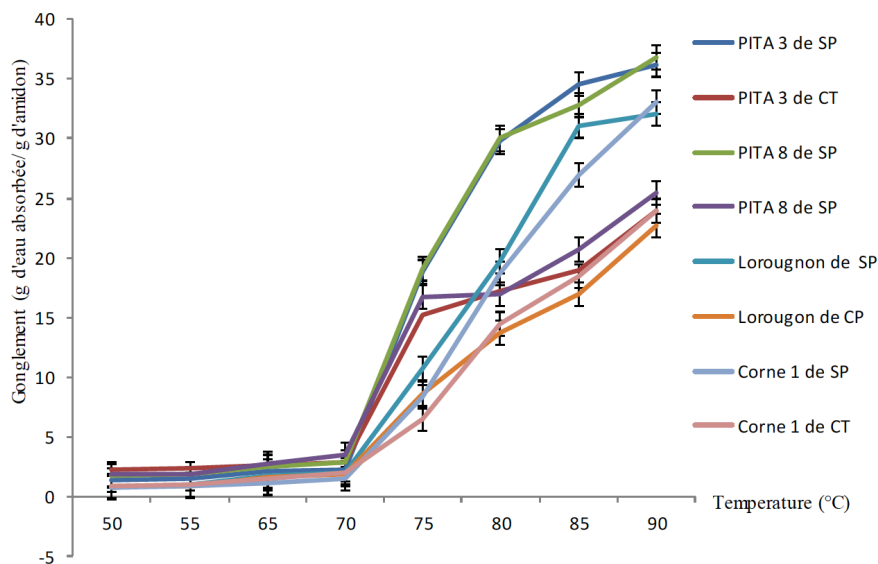


Figure 2. Gonflement des amidons des fruits des hybrides de bananiers plantain PITA 3, PITA 8, des variétés Lorougnon et Corne 1.

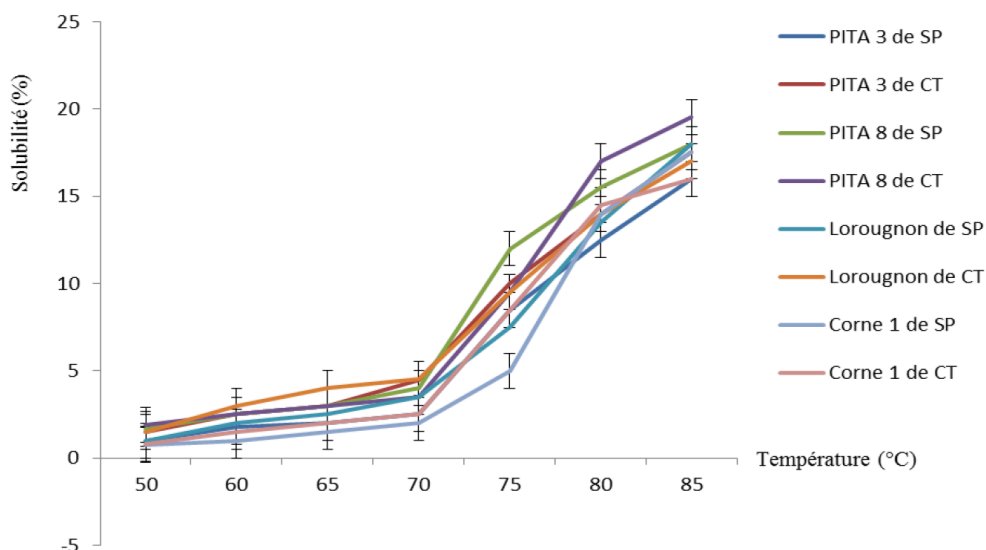


Figure 3. Solubilité des amidons des fruits des hybrides de bananiers plantain PITA 3, PITA 8, des variétés Lorougnon et Corne 1.



Tous les amidons extraits des fruits de bananier plantain de stade physiologique et de coupe traditionnelle présentent des faibles gonflements entre 60 et 70 °C, température à partir de laquelle les gonflements connaissent un saut important. Les faibles gonflements correspondent à des faibles capacités d'hydratation des amidons dues à un mélange de grains d'amidons gonflés et de grains d'amidons intègres (Sidibé et al., 2007). Les sauts importants des gonflements des amidons à partir de 70 °C, correspondent à des fortes capacités d'hydratations des amidons provoquant ainsi l'éclatement des grains d'amidons chauffés (Sidibé et al., 2007). Les gonflements des amidons extraits des fruits de stade physiologique varient entre 34,5 et 38,5 g/g à 95 °C. Cette variation des gonflements à 95 °C est supérieure à celle des amidons extraits des fruits de récolte traditionnelle comprise entre 27 et 30,5 g/g. La différence des gonflements entre les amidons serait liée à la taille des grains d'amidons (Gnakri, Kamenan, 1990). En effet, Gnakri et Kamenan (1990) ont observé que les amidons des fruits de la variété Orishele de stade physiologique présentaient des amidons de petites tailles et avaient un pouvoir d'absorption (35 g/g) supérieur à celui de l'amidon des fruits de la même espèce de récolte traditionnelle (12 g/g) à 95 °C.

Les résultats font apparaître une homologie de caractères physico-chimiques entre les amidons des fruits du point de coupe physiologique et ceux de la récolte traditionnelle. La seule différence en défaveur du point de coupe physiologique est la taille inférieure du grain d'amidon, ce qui se répercute sur le fruit entier encore maigre. Mais le grossissement du fruit après le point de coupe physiologique n'apporte aucun élément nutritif supplémentaire, c'est le seul fait d'accumuler l'eau dans les organes des doigts. Le consommateur aurait plutôt gagné à s'intéresser à une denrée qui se conserve plus longtemps avec toutes les caractéristiques d'un aliment amylicé qu'un produit plus volumineux et plus périssable.

Les pouvoirs d'absorption des amidons des fruits des hybrides de bananiers plantains PITA 3 (37 g/g) et PITA 8 (38 g/g) de récolte précoce sont supérieurs à celui (36 g/g) obtenu par Gnakri (1993) sur le plantain *Musa* spp., mais inférieur à celui (40 g/g) obtenu par Amani et al. (1993) sur le taro *Xanthosoma sagittifolium* à 95 °C.

Concernant la solubilité, elle est la quantité de matériel glucidique soluble à partir de l'amidon suspendu dans l'eau (Figure 3). Les huit types d'amidon présentent les mêmes comportements de solubilité. Ils se caractérisent par deux stades d'accroissement dont l'un, situé entre 60 et 70 °C, indique de faibles solubilités (Sidibé et al., 2007). L'autre, compris entre 70 et 95 °C, illustre de fortes solubilités correspondant à l'éclatement des grains ; libérant ainsi l'amylose qui est une structure très vulnérable à la chaleur (Sidibé et al., 2007). Les amidons des fruits des hybrides de bananiers plantains PITA 3 et PITA 8, les variétés *Lorougnon* et *Corne 1* de stade physiologique, ont des solubilités comprises entre 21 et 23,5 % à 95 °C. Cet intervalle des solubilités des amidons des fruits de bananiers plantains de stade physiologique est inférieur à celui ([22 ; 24 %]) des amidons des fruits de coupe traditionnelle au seuil de 5 %.

La différence serait liée à la taille des grains d'amidons (Gnakri, Kamenan, 1990). En effet, Gnakri et Kamenan (1990) ont observé que les amidons des fruits de la variété Orishele de stade physiologique présentaient des amidons de petites tailles et avaient une solubilité (16 %) inférieure à celle (18 %) de l'amidon des fruits de la même espèce de coupe traditionnelle à 95 °C. Ces deux phases observées dans le comportement de la solubilité de ces amidons de plantains se rencontrent également chez les amidons d'ignames, de céréales (Delpeuch, 1980) et de pomme de terre (Colonna, Mercier, 1979). Ces deux types d'amidons présentent des comportements de gonflement et solubilité comparables. Ils se caractérisent par deux stades d'accroissement dont l'un, situé entre 60 et 70 °C correspond à une faible capacité d'hydratation et de solubilisation, et l'autre linéaire et proportionnel à la température allant de 70 à 90 °C.

## 4. Conclusion

De l'étude de la détermination du point optimal de coupe des fruits, il ressort que la maturité physiologique se situe au 79<sup>e</sup> jour pour les hybrides PITA 3 et PITA 8 et celle des variétés *Lorougnon* et *Corne 1* au 65<sup>e</sup> jour après l'émission florale.

La maturité physiologique des fruits de bananier plantain varie en fonction de l'espèce et de la durée de maturation.

La coupe des fruits des hybrides de bananiers plantains PITA 3, PITA 8 à la maturité physiologique permet de les conserver plus de 14 jours et pour les variétés *Lorougnon* et *Corne 1* pendant 10 jours. Les fruits coupés à la maturité physiologique sont plus petits que ceux coupés à la maturité traditionnelle, mais l'amidon a le même gonflement et la même solubilité et des potentialités fonctionnelles qui leur confèrent le caractère de produit amylacé mature. De ce fait, la détermination du point de coupe reste une approche de solution au problème de pertes en post-récolte.

## Bibliographie

- Anonyme, 2002. *Memento de l'Agronome*, CIRAD-GRET, Paris.
- Agbo N.G., Soumanou M., Yao K.A., 1996. Nouvelles techniques de conservation de la banane plantain en milieu rural avec la matière végétale locale. *Sciences des Aliments*, **16**(6), 607-621.
- Abu El-Gasim Ahmed Yacoub, Abdalla Abdelsamad Abdalla, 2007. Effect of Domestic Processing Methods on Chemical Composition, *in vitro* Digestibility of Protein and Starch and Functional Properties of Bambara Groundnut (*Voandzeia subterranea*) Seed. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, **3**(1), 24-34.
- Amani G.N., Aboua F., Gnagri D., Kamenan A., 1993. Étude des propriétés physico-chimiques de l'amidon de taro (*Xanthosoma sagittifolium*). *Industries Alimentaires et Agricoles*, **3**, 136-149.
- Chataignier J., Kouadio T., 1980. L'économie de la banane plantain en Côte d'Ivoire. *Cahiers Ivoiriens de la Recherche Économique et Sociale (CIREs)*, **27**(2), 13-12.
- Colonna P., Mercier C., 1979. Les amidons de légumineuses. Aspect, composition, structure et propriétés physico-chimiques. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, **12**, 1-12.
- Collin M.N., Dalnic R., 1991. Évolution de quelques critères physico-chimiques de la banane plantain (cultivar *Orishele*) au cours de la maturation. *Fruits*, **46**(1), 13-17.
- Coulbaly S., 2008. *Caractérisation physico-chimique, rhéologique et analyse des fruits de quelques cultivars de bananier (Musa AAB, AAAA, AAAB)*. Thèse de Doctorat de l'Université d'Abobo-Adjamé, Abobo-Adjamé, 171 p.
- Dadzie B.K., Orchard J.E., 1997. *Routine Post Harvest Screening of Banana/Plantain Hybrids. Criteria and Methods*. INIBAP Technical Guidelines 2. IPGRI, Rome.
- Delpuch F., Favier J.C., 1980. Caractéristiques des amidons de plantes alimentaires tropicales : action de l'alpha-amylase, gonflement et solubilité. *Annales de Technologie Agricole*, **29**(1), 35-67.
- Faithful N.T., 1990. Acid hydrolysis prior to automatic analysis of starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **50**(3), 419-421.
- FAO, 2011. *Statistics production yearbook*. FAO, Rome.
- Gnagri D., 1993. *Valorisation du fruit de plantain (Musa sp.) : I-Caractérisation physico-chimique de l'amidon. II-Étude nutritionnelle, métabolique et physiologique des aliments dérivés : foutou et fufufu*. Doctorat d'État es-sciences. Abidjan, Côte d'Ivoire, 233 p.
- Gnagri D., Kamenan A., 1990. Degré de maturité et conservation de la banane plantain (*Musa sp.*). Qualité physicochimique de l'amidon. *Industries alimentaires et agricoles*, **107**(4), 251-256.
- Gnagri D., Champ M., Colonna P., 1990. *Préparations de banane plantain : analyse des constituants glucidiques et digestibilité in vitro de l'amidon*. Association française de Nutrition, Paris, 323 p.

- Kader A.A., 1997. Fruit maturity, ripening and quality relationships. *Perishables Handling Newsletter*, **80**, 2-5.
- Kushman L.J., Pope D.T., Warren J.A., 1966. A rapid method of estimating dry matter content of sweet potato root tissue. *HortScience*, **3**(1), 44-45.
- Martinez-Herrera J., Siddhuraji P., Francis G., Dávila-Ortiz G., Becker K., 2006. Chemical composition, toxic/antimetabolic constituents, and effects of different treatments on their levels, in four provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. *Food Chemistry*, **96**, 80-89.
- Mestres C., Rouau X., 1997. Influence of natural fermentation and drying conditions on the physicochemical characteristics of cassava starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **74**(2), 147-155.
- Mosso K., Lingani M., Angbo S.F., Konan K.F., Kamenan A., 1990. Mise au point de farine protéine de banane plantain. Application : fabrication de biscuits secs. *Industries alimentaires et agricoles*, **107**(3), 135-138.
- N'Da Adopo A., 1993. La qualité et la filière après récolte de la banane plantain au Cameroun et en Côte d'Ivoire. *Fruits*, **48**(2), 125-132.
- N'guessan A., Yao N., Kehe M., 1993. La culture du bananier plantain en Côte d'Ivoire. Spécial bananes II : systèmes de production du bananier plantain. *Fruits*, **48**(2), 133-143.
- Nkendah R., 2001. *Collecte et analyse des données secondaires sur la filière bananes et plantains au Gabon*. Rapport technique de mission.
- Quintero S.J.A., Aristizábal L.M., 2003. Efecto del desmane sobre las características productivas de Dominico Hartón y África en Colombia. *Infomusa*, **12**(1), 44-46.
- Sery D.G., 1983. *Le plantain en Côte d'Ivoire. Production, transport et stockage*. IRFA, Abidjan, 5 p.
- Sidibé D., Sako A., Agbo N'zi G., 2007. Étude de quelques propriétés physico-chimiques des amidons de cinq (5) variétés de maniocs (attiéké Mossi 1, attiéké Mossi 2, agbablé 1, kétévie, et TA (8)) cultivées en Côte d'Ivoire. *Revue CAMES – série A*, **5**, 92-97.
- Temple L., Bikoï A., Tallec F., 2001. *Collecte et analyse des données secondaires sur les productions bananières au Cameroun*. Rapport Final Document CRBP N° 230/CRBP/2001.
- Wainwright H., Hughes P.A., 1989. Objective measurement of banana pulp colour. *International Journal of Food Science & Technology*, **24**(5), 553-558.
- Wainwright H., Hughes P.A., 1990. Changes in banana pulp colour during ripening. *Fruits*, **45**(1), 25-28.

## Accès aux marchés des produits agro-alimentaires traditionnels dans le département du Zou au Bénin

Gibigaye Moussa, LARES, moussa\_gibigaye@yahoo.fr  
 Aboudou Faridath, LARES, faridath.aboudou@yahoo.fr  
 Soule Bio Goura, LARES, soule\_goura@yahoo.fr,

### Résumé

L'objectif général de cette étude est de réaliser un état des lieux et d'élaborer une stratégie sur la commercialisation des principaux produits que sont le klui-klui, l'huile d'arachide, l'huile rouge, le zomi, l'afitin, et le fromage de soja en vue d'identifier les différents goulets d'étranglement et une meilleure valorisation des productions pour les unités de transformation et faire ressortir les opportunités et les marchés de niche.

Il importe dans ces conditions d'envisager des formes d'intervention qui ciblent mieux les segments des chaînes de valeur des produits, renforcent les capacités d'insertion des acteurs de l'économie rurale dans le marché local et sous régional.

Le département du Zou est situé dans la zone soudano-guinéenne. Il couvre une superficie de 5 243 km<sup>2</sup> et comptait 605 800 habitants (INSAE, 2013) dont les femmes représentent 52,9 % et 75 % de ruraux.

L'approche adoptée est de type micro-économique visant à évaluer l'importance et le fonctionnement de la chaîne de valeur des produits agro-alimentaires étudiés dans la zone d'étude. Dans la zone d'étude, il faut ajouter quatre marchés terminaux de consommation : Cotonou, Ouando, Azovè et Kétou.

Au total, 321 acteurs intervenant au sein des six filières/produits : klui-klui, huile d'arachide, huile de palme ordinaire, zomi, afitin et fromage de soja dont 124 transformatrices et 207 commerçants de ces produits ont été interrogés lors d'entretiens individuels, de focus groupes (21 focus au total) tant avec les transformatrices qu'avec les commerçants.

Une analyse de la typologie des acteurs montre qu'il manque singulièrement un maillon important dans la chaîne de distribution des produits : de véritables marchés de regroupement situés tant au niveau local (village) que communal.

La commercialisation des produits agro-alimentaires dans le Zou implique des flux et des circuits multiples. Cependant il est loisible de distinguer au plan spatial des flux et circuits locaux et régionaux et au point de vue directionnel, des flux sortant et entrant, lesquels introduisent des produits concurrents importés.

Au total, au-delà des réserves qu'on pourrait avoir de ces résultats (la réticence des transformatrices à donner les informations crédibles sur leurs activités ne permet pas de disposer de données fiables), on peut constater que les activités de transformation et les volumes de production sont importantes dans les communes, objet des enquêtes. Mais la production reste modeste, atomisée et peu lisible au cours de l'année, ou d'une année à l'autre.

### Access to traditional food products markets in the Zou Department (Benin)

The general objective of this study is to draw up an inventory and to develop a strategy on the marketing of some main products such as Klui-Klui, peanut oil, red oil, zomi, afitin and soy cheese in order to identify the different bottlenecks and enhance the value of the above mentioned products to the profit of the processing units and highlight the opportunities and niche markets.

It is important in these circumstances to consider some forms of intervention that better target the segments of value chain of the products, and strengthen the integration capacities of the actors in the rural economy in the local and sub regional markets.

The Zou Department is located in the Sudano-Guinean zone. It covers an area of 5.243 sq km and shelters 605,800 inhabitants (INSAE, 2013), women account for 52.9% with 75% people living in rural area.

The approach is microeconomic kind to assess the importance and implementation of the value chain of food products examined in the study area. In this area, we number four consumer terminal markets: Cotonou, Ouando, Azovè and Ketu.

In sum, 321 people are involved in the following six sectors or products: Klui-Klui, peanut oil, normal palm oil, zomi, afitin and soy cheese. Among them, 124 processors and 207 traders were interviewed using individual interview, focus group (21 total focus) with both processors and traders.

A typology analysis of the actors reveals a particular absence in the product distribution chain: real grouping markets located both locally (village) and municipally.

The marketing of food products in the Zou Department involves multiple flows and circuits. However it can be distinguished spatially local and regional fluxes and circuits. Directionally speaking, there are incoming and outgoing flows which introduce imported competing products.

In general, beyond the doubt related to the results (beside the reluctance of the ladies involved in the processing to give credible information on their activities for reliable data), we can notice that the processing activities and the quantity of production are important in the target districts of investigations. But production remains small, fragmented and difficult to evaluate during a year, or from a year to another.

## 1. Introduction

Le département du Zou, au centre du Bénin, affiche un taux de pauvreté monétaire légèrement supérieur au profil moyen national (38%) contre (37%) pour le niveau national. Toutefois, le niveau de consommation d'un ménage dans le Zou est d'en moyenne 39 000 FCFA par mois, contre une moyenne nationale de 69 000 FCFA, ce qui le place au dernier rang du pays, juste avant les départements du Couffo et du Plateau. C'est aussi dans le Zou que la part des dépenses alimentaires dans les dépenses totales est la plus importante (44%). L'incidence de la pauvreté monétaire se monte à 38% au niveau du département avec des pointes de 44 et 45% respectivement dans les communes de Ouinhi et de Zagnanado. (INSAE, 2013).

Selon Singbo (2000) une des causes de cette pauvreté est la faible performance de la principale activité économique de ce département, l'agriculture. Le secteur agricole, qui occupe plus de 70 % de la population du département du Zou souffre de deux maux essentiels : L'exode des actifs vers les régions septentrionales, du fait de la dégradation des terres cultivables, a transformé le département en une région de départ des bras valides. Le département est devenu une zone des plus fortes migrations du Bénin.

Les difficultés liées au placement (vente des produits dans les marchés) des produits agricoles, en dépit d'une débordante activité commerciale liée à la position géographique de certaines localités du département. La relative mauvaise commercialisation des produits tient, i) de la non-maîtrise des débouchés, ii) à l'insuffisante organisation des différents acteurs, iii) à la méconnaissance des normes de qualité (conditionnement des produits, emballage, adaptation du produit aux besoins des clients), iv) aux coûts de production souvent élevés, v) à l'absence d'un système efficace d'information sur la structure du marché, et vi) à l'inefficacité des stratégies de commercialisation.

Il apparaît au vu de l'ensemble des stratégies déployées à ce jour, que tant l'aval que l'amont du secteur agricole constituent les segments d'intervention les plus appropriés pour non seulement accroître la productivité du secteur, mais aussi s'assurer une meilleure valorisation des productions sur le marché (Agohoungou, 1995 ; Avohou, 2006).

Plusieurs initiatives et stratégies ont déjà été expérimentées tant au niveau national que du département du Zou. Elles ont visé entre autres, i) l'amélioration de la productivité des systèmes de production d'une part, et des systèmes de stockage et conservation d'autre part, ii) la facilitation de l'accès à des institutions de microcrédit, la collectivisation de la mise en marché des produits, les tentatives de régulation du marché au moyen de la constitution de stock villageois, etc. (Adégbola et al., 2003).

Les résultats paraissent dans l'ensemble très mitigés. Ces initiatives n'ont visiblement pas réussi à sortir l'économie rurale des zones d'intervention de sa léthargie et surtout réduire la précarité et la vulnérabilité des populations aux chocs qui les confinent dans la pauvreté.

L'objectif de cette étude est de réaliser un état des lieux de la commercialisation des produits transformés dans le département du Zou. Cet état des lieux doit permettre de faire la lumière sur les différents enjeux, les divers acteurs impliqués, les organisations mises en place ou stratégies développées en vue de leur accès aux marchés.

## 2. Matériel et méthode

### 2.1. La démarche globale

Nous avons adopté une approche de type micro-économique visant à évaluer l'importance et le fonctionnement de la chaîne de valeur des produits dérivés cités ci-dessus dans la zone à savoir quatre communes du département du Zou : Agbangnizoun, Covè, Zagnanando et Zogbodomey.

Il s'agit donc d'une analyse de filière qui s'est intéressée particulièrement aux aspects institutionnels du marché des différents produits (organisation des acteurs, fonctionnement des circuits et des réseaux de commercialisation, performance du marché, nature des défaillances en présence, rentabilité financière et économique des transactions, perspectives d'évolution au regard du contexte local, sous-régional et national).

En effet la proposition de stratégie et de mesures d'intervention pour améliorer l'insertion des producteurs et autres transformateurs ruraux dans le marché, finalité de ce travail, a nécessité une connaissance approfondie :

- des formes d'organisation et de structuration des acteurs, de leurs stratégies et capacités d'intervention ;
- du fonctionnement du marché, ramifications des circuits, évolution des prix, formes contractuelles dominantes ;
- du niveau des coûts de transactions aux fins de détermination des marges brutes de commercialisation des différentes catégories d'acteurs en présence ;
- des problèmes que rencontrent les différents acteurs engagés dans la commercialisation des produits cités. L'analyse s'est évertuée à distinguer les dysfonctionnements liés aux défaillances des politiques publiques de celles qui relèvent des insuffisances en matière organisationnelle des acteurs ;
- des tendances du marché, les formes et le degré de concurrence que livrent les produits d'origines tierces à ceux locaux, l'évolution potentielle de la demande et suggestion de stratégie et de mesures d'intervention appropriées.

### 2.2. La démarche spécifique

Les enquêtes ont été conduites dans trois localités par commune dont le chef-lieu de commune, soit en tout 12 localités (Tableau 1). À ces localités implantées dans la zone d'étude, il faut ajouter quatre marchés terminaux de consommation : Cotonou, Ouando, Azovè et Kétou.

Les acteurs ont été choisis de façon raisonnée selon que la commercialisation ou la fabrication d'un produit ciblé constitue leur activité principale. Lorsqu'au cours de l'entretien l'enquêteur remarque que le produit déclaré n'est pas principal pour le répondant, il change de produit en prenant dans la liste des six produits ciblés celui qui est effectivement son produit principal. Il change d'interlocuteur si aucun des produits ciblés ne constitue le produit principal du répondant.

**Tableau 1.** Produits et localités ciblées par les enquêtes.

Commune	Localités	Produits ciblés
Agbangnizoun	V1 : Kinta Danli	6. Fromage de soja
	V2 : Lissazoumé	5. Aftin
	V3 : Agbangnizoun	3. Huile rouge
Covè	V4 : Agbangnahoué	3. Huile rouge
	V5 : Gounli Vèmè	1. Klui-klui
	V6 : Covè	2. Huile d'arachide et 1. klui-klui
Zagnanado	V7 : Doga-Alikon	1. Klui-klui
	V8 : Doga Vèmè	4. Zomi
	V9 : Zagnanado	2. Huile d'arachide et 1. klui-klui
Zogbodomey – Bohicon	V10 : Avlamé	6. Fromage de soja
	V11 : Saclo(Bohicon)	5. Aftin de néré
	V12 : Zogbodomey	4. Zomi

Source : enquête de terrain. Lares 2008.

Au total, 321 acteurs intervenant au sein des six filières/produits : klui-klui, huile d'arachide, huile de palme ordinaire, zomi, aftin et fromage de soja dont 124 transformatrices et 207 commerçants de ces produits ont été interrogés (Tableau 2).

**Tableau 2.** Répartition des enquêtes par localité.

Communes	Localités	Commerçant(e)s	Transformatrices	Total par localité
Agbangnizou	Kinnta Danli	45	30	75
	Lissazoumé			
	Agbangnizoun			
Covè	Agbangnahoué	12	32	44
	Gounli vèmè			
	Covè			
Zagnanado	Doga Alikon	12	24	36
	Doga Vèmè			
	Zagnanado			
Zogbodomey Bohicon	Avlamè	48	38	86
	Saclo			
	Zogbodomey			
Cotonou		39	0	39
Azovè		15	0	15
Kétou		21	0	21
Ouando		15	0	15
Total		207	124	331

Les données ont été collectées au moyen d'entretiens individuels (questionnaires) et de focus groupes (guide d'entretien) tant avec les transformatrices qu'avec les commerçants pour cerner les problèmes de transformation et de commercialisation et faire émerger par une approche collective les solutions applicables et acceptables par les acteurs concernés. Au total 21 focus groupes de trois à quatre personnes ont été réalisés et dont la répartition selon les différents acteurs est présentée au tableau 3.



**Tableau 3.** Nombre de focus groupes réalisés.

	Transformatrices	Commerçants (es)	Total
Agbagnizoun	3	4	7
Covè	3	1	4
Zagnanado	3	0	3
Zogbodomey	3	4	7
Total	12	9	21

Les enquêtes de marché hors de la zone d'intervention du projet se sont déroulées à Azovè (Couffo), Glazoué (Collines), Kétou (Plateau), Ouando (Ouémé) et Cotonou (Littoral). Il s'est agi d'entretiens avec les transporteurs, les commerçants des différents produits ciblés en vue d'évaluer l'ampleur des flux sortant et entrant, d'analyser les stratégies des acteurs, de déterminer la place des produits de la zone dans ces différents marchés.

Les difficultés rencontrées au cours des enquêtes sont nombreuses. Cependant c'est la faible disponibilité des transformatrices et des commerçantes à se soumettre à l'administration des différents questionnaires qui a constitué la plus importante difficulté rencontrée. La réalisation des focus groupes a été particulièrement difficile. Il a été fréquent de commencer les entretiens avec 7-8 personnes et de les terminer avec seulement 4 voire 3. Le constat qui se dégage est le faible enthousiasme des acteurs notamment des transformatrices, à mettre en place des organisations bien structurées. Une telle situation peut constituer à court terme un important goulet d'étranglement à lever pour dynamiser le commerce des produits ciblés.

Cependant les résultats obtenus permettent de cerner le fonctionnement du marché des six produits, notamment les difficultés que rencontrent les principaux acteurs, les transformatrices et les commerçantes.

### 3. Résultats et analyse

#### 3.1. Généralités sur la zone d'étude

Le département du Zou, au centre du Bénin est situé dans la zone soudano-guinéenne. Il couvre une superficie de 5 243 km<sup>2</sup> et comptait 605 800 habitants selon les résultats du RGPH de 2002 dont les femmes représentent 52,9 % de l'effectif total. En outre, il s'agit d'une population jeune et à forte proportion de ruraux (75 %).

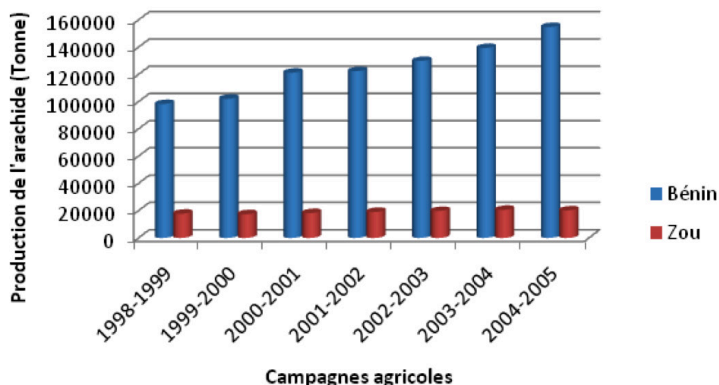
Le département, qui est subdivisé en six communes : Abomey, Bohicon, Agbangnizoun, Djidja, Covè, Zagnanando, Zogbodomey, Ouinhi, Za-kpota, bénéficie d'un climat de type subéquatorial de transition caractérisé par quatre saisons :

- une grande saison pluvieuse qui s'étend de mars à juillet,
- une petite saison sèche en août,
- une petite saison de pluie de septembre à octobre,
- une grande saison sèche de novembre à mars.

#### 3.2. Les potentialités agricoles de l'arachide, du palmier à huile, du néré et du soja dans le département du Zou

Cette partie analyse les potentialités agricoles du département du Zou et en particulier celles des communes cibles de l'étude. Elle met l'accent sur les spéculations dont la transformation est appuyée par des programmes dans la zone d'étude à savoir : l'arachide, le soja, le néré, le palmier à huile. Le niveau des potentialités du département pour ces différents produits est très variable en lien avec la spécificité des conditions climatiques et édaphiques de la zone.

La production d'arachide du département du Zou présente deux caractéristiques principales : elle reste modeste comparée à celle de l'ensemble du Bénin et très erratique sur la période considérée comme le montre le graphique ci-dessous. La production annuelle varie entre 17 000 tonnes en 1999 et 20 500 tonnes en 2005 (MAEP, 2006). La production d'arachide du département du Zou représente entre 10 et 13 % de l'offre nationale d'arachide selon les années (Figure 1).



**Figure 1.** Évolution comparée de la production d'arachide au Bénin et dans le Zou (d'après les données du MAEP, 2006).

Le palmier à huile (*Elaeis guineensis*) est un oléagineux qui est utilisé au Bénin pour produire principalement de l'huile rouge et de l'alcool alimentaire : le SODABI. Le département du Zou n'est pas considéré comme une grande zone de production de palmier à huile au Bénin. Dans ce département on rencontre les plantations de palmeraies traditionnelles généralement intégrées dans un système de cultures associant d'autres spéculations agricoles : le maïs, le niébé et le manioc.

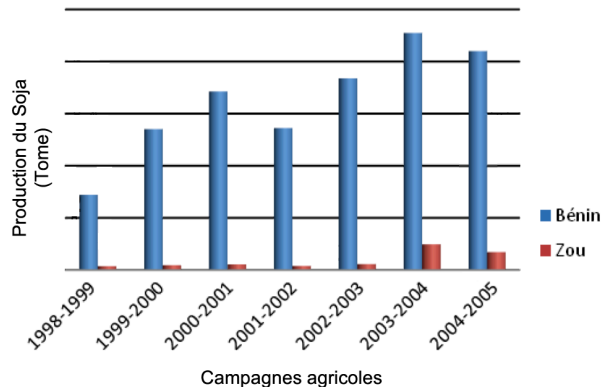
Le département du Zou pourrait alors s'appuyer sur cette opportunité pour réhabiliter les plantations villageoises traditionnelles notamment dans les communes de Covè, Ouinhin, Djidja, Zogbodomey et Agbangnizoun et accroître substantiellement la production départementale des noix de palme.

Le néré (*Parkia biglobosa*), est appelé *ahwat* en fon, principale langue parlée dans le département du Zou. Cet arbre est principalement conservé pour ses fruits, dont les graines, riches en protéines, occupent une place importante dans l'alimentation et la vie économique de la population béninoise. La graine de son fruit, le néré, sert à fabriquer la moutarde qui rentre dans l'alimentation des populations. La poudre jaune obtenue du fruit sert plutôt à assaisonner les bouillies de maïs ou de mil dans les régions septentrionales du Bénin et dans les pays du Sahel.

De ce fait, la majeure partie des graines, objet des transformations en moutarde, proviennent des régions septentrionales du Bénin : des départements des Collines et de la Donga d'une part et du Centre et Nord du Togo, via un trafic frontalier animé par le marché de Tchettin (commune de Savalou), d'autre part.

Le soja est une matière première alimentaire moins chère que la graine de néré, et dont le prix au cours de l'année est stable. L'introduction de soja permet alors aux productrices de poursuivre leur activité pendant les périodes de pénurie de graines de néré, notamment en ce qui concerne la fabrication de la moutarde de soja. La multifonctionnalité du produit lui confère une importance particulière dans les nouvelles stratégies de développement des activités agricoles au niveau local.

La production du soja a connu au cours des dix dernières années une progression très importante. Le volume de la production nationale a été multiplié par 3,2 entre 1999 et 2004 contre 6,7 fois dans le Zou. Dans ce département le volume de la production, bien que modeste est passé de 73 tonnes en 1999 à 492 tonnes en 2004, une des plus fortes progressions nationales (Figure 2).



**Figure 2.** Évolution comparée de la production du soja (d'après les données du MAEP, 2006).

### 3.3. Les forces et faiblesses des quatre produits agricoles et de cueillette dans le Zou, opportunités et menaces (SWOT) des six filières agro-alimentaires artisanales

L'analyse qui précède a mis en relief le caractère modeste de la production des produits de base. En dépit du taux de croissance rapide qu'affiche la production du soja, les productions agricoles restent confrontées à de sérieux problèmes, dont deux apparaissent comme limitant pour le développement des activités de production. Il s'agit des problèmes fonciers et de la dégradation accélérée de la fertilité des terres. De nombreux travaux antérieurs soulignent l'acuité de cette question dans les deux entités socio-culturelles qui forment le département du Zou : le pays Agonli et le plateau du Danxomé. Avec des densités moyennes de population qui avoisinent les 130 habitants au km<sup>2</sup> contre 70 au niveau national, le département du Zou est de plus en plus confronté aux problèmes fonciers. Ces derniers sont aggravés d'une part, par le morcellement continu des terres du fait des partages d'héritage<sup>1</sup> et d'autre part, par la pression urbaine démographique. Il en résulte une surexploitation des terres qui accélère leur dégradation.

### 3.4. Offre des produits ciblés

Cette partie analyse l'offre des produits objets de notre étude à savoir l'huile d'arachide, le tourteau d'arachide (le klui-klui), les deux variétés d'huile de palme (huile rouge ordinaire et le zomi), la moutarde locale (afitin), le fromage issu du soja. Elle traite successivement des caractéristiques et du fonctionnement des unités de transformation, procède à une estimation sommaire de l'offre (capacité théorique de production des unités artisanales de transformation) et des problèmes majeurs y afférant.

<sup>1</sup> Selon l'étude : problématique de l'intercommunalité dans le fonctionnement des communes au Bénin, la taille moyenne des exploitations agricoles était de 1,7 ha sur le plateau du Danxomé, et d'environ 2,7 ha en pays Agonli. Plus de 80% des terres cultivables sont mises en valeur chaque année dans le département.

### 3.4.1. Caractéristiques des acteurs de la transformation artisanale

L'âge moyen des transformatrices varie entre 20 et 50 ans. Il s'agit pour la majeure partie d'entre-elles, d'analphabètes (62,8 % de notre échantillon) et mariées plus de 80 %. Généralement la transformation constitue leur principale activité en termes de volume de travail et de sources de revenus. Mais il n'est pas rare de rencontrer des transformatrices qui se positionnent également comme distributrices de leur propre production (cas des transformatrices de afitin et de fromage de soja). Certaines transformatrices tiennent également de petites exploitations agricoles d'où elles puisent une partie de la matière première alimentant les activités de transformation (Figure 3).

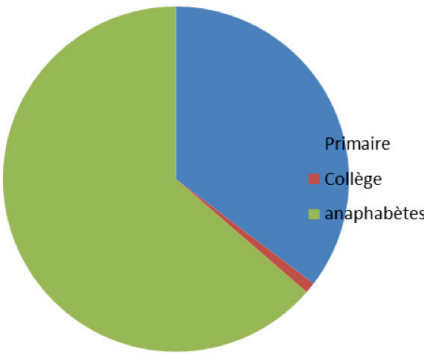


Figure 3. Distribution des transformatrices selon leur niveau d'instruction (enquête de terrain. Lares 2008).

### 3.4.2. Niveau de structuration des transformatrices

L'analyse du niveau de structuration des acteurs est importante pour apprécier la faisabilité des mesures d'accompagnement orientées vers des actions collectives destinées à réduire les coûts de transaction au niveau des petites unités artisanales et familiales de production. Le niveau d'organisation des producteurs et spécifiquement des transformatrices peut également faciliter la mise en place d'un certain nombre de stratégies de régulation du marché : un plus grand accès à l'information et une capacité à développer des mesures de maximisation des profits commerciaux.

Les acteurs de la transformation dans le département du Zou évoluent au sein de deux formes principales de structures organisationnelles de production : des unités individuelles largement prédominantes et des groupements fonctionnant généralement de façon très lâche.

Les résultats des enquêtes révèlent une prédominance des unités individuelles de production et de commercialisation des six produits ciblés. Plus de 90 % des transformatrices évoluent dans des unités individuelles de production. La totalité des transformatrices d'huile d'arachide et de zomi évoluent uniquement au sein d'unités de production familiales. Par contre, c'est au sein des filières fromage de soja et klui klui qu'on note les plus fortes propensions associatives des acteurs, avec respectivement 11 et 25 % des acteurs qui sont affiliés à une association (Tableau 4).

Tableau 4. Statut associatif des transformatrices par filière.

Statut	Klui-klui	Huile d'arachide	Zomi	Afitin	Fromage de soja	Ensemble filière
Individuel	89	100	100	95	75	91
Groupement	11	0	0	5	25	9
Total	100,00	100	100	100	100	100

Source : enquête de terrain. Lares 2008.

Les unités de production fonctionnent de ce fait en s'appuyant prioritairement sur la main-d'œuvre familiale. Certaines transformatrices ont recours à de la main-d'œuvre salariée. Le niveau de leur équipement reste modeste et limité à quelques infrastructures sommaires : hangars et entrepôts en matériaux précaires, et des ustensiles de cuisine élémentaires. En effet plus des deux tiers des transformatrices ont encore recours à des procédés artisanaux de transformation (Tableau 5).

**Tableau 5.** Proportion de femmes ayant recours à chaque procédé de transformation.

		Type de transformation		Total
		Semi-industrielle	Artisanale	
Localité	Agbangnizoun	19	11	30
	Covè	3	29	32
	Zogbodomey	0	30	30
	Zagnanado	14	10	24
Total (%)		31,03 %	68,96 %	116

Source : enquête de terrain. Lares 2008.

### 3.4.3. Le financement de la transformation : sources et modes

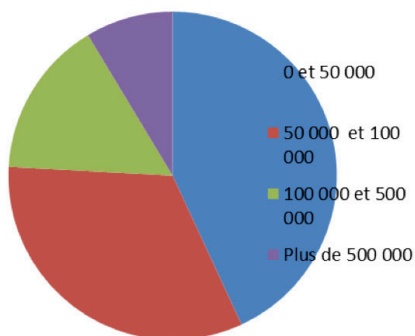
La question du financement de l'agriculture constitue un des principaux goulets d'étranglement pour les différentes catégories d'acteurs, un enjeu critique du développement agricole national. Les besoins de financement concernent les exploitations agricoles, dans leur extrême diversité, les acteurs économiques impliqués dans les filières ainsi que les organisations paysannes ou professionnelles. L'agriculture recouvre des problématiques très différentes selon le type de financement (court, moyen et long termes), l'objet du financement (équipements, trésorerie/soudure/crédit de campagne, plantations pérennes, unités de transformation, plateformes ou bâtiment de stockage) (Tableau 6).

**Tableau 6.** Les différentes sources de financement de la transformation.

Formes de financement	Fréquence	Pourcentage
Capital familial	13	11,21 %
Capital familial et emprunt	5	4,31 %
Capital familial, emprunt et tontine	3	2,58 %
Capital familial et tontine	31	26,72 %
Capital familial, emprunt et autres sources	1	0,86 %
Emprunt	11	9,48 %
Emprunt et tontine	4	3,45 %
Tontine	36	31,03 %
Tontine et autres	12	10,34 %

Source : enquête de terrain. Lares 2008.

Dans tous les cas de figures, le niveau des fonds de roulement qu'utilisent les transformatrices restent modestes. Plus de 40 % des transformatrices évoluent avec un fonds de roulement qui tourne autour de 50 000 FCFA soit une production de 350 kandés de klui-klui et 650 litres d'huile d'arachide ; 32 % doivent se contenter d'un fonds de roulement compris entre 50 000 et 100 000 FCFA soit une production de 5 850 kandés de klui-klui et 3 000 litres d'huile d'arachide ; et seulement 8 % qui travaillent avec un fonds de roulement supérieur à 500 000 FCFA soit une production de 900 000 kandés de klui-klui et 7 500 litres d'huile d'arachide. Elles ont donc une base financière très faible et précaire. Cette situation est de nature à les rendre très vulnérables au moindre choc qu'il soit endogène ou exogène (Figure 4).



**Figure 4.** Répartition des transformatrices selon le niveau de leur fonds de roulement.

#### 3.4.4. L'approvisionnement des unités de transformation en matières premières

En règle générale, les transformatrices s'approvisionnent soit directement au champ du producteur, soit dans les marchés de collecte, soit à domicile selon le produit en présence et les périodes de l'année. Les marchés constituent les lieux prédominants d'approvisionnement en période de soudure. Par contre, les achats au champ et à domicile sont courants en période d'abondance. Les modes de paiement varient en fonction des rapports existant entre la transformatrice et le fournisseur : commerçant ou producteur direct. Globalement, les achats se font au comptant ou à crédit dans les marchés locaux, à domicile ou bord champ (Tableau 7). Pour les achats à crédit, le délai de remboursement varie entre une semaine et un mois dans la majeure partie des cas.

**Tableau 7.** Modalités d'approvisionnement des acteurs dans la zone d'étude.

Filières	Sources d'approvisionnement	Modalités d'approvisionnement	Mode de paiement
Arachide	Département Département du Zou, Département des Collines	Domicile en période d'abondance Marchés en période de rareté	Comptant Crédit
Noix de palme	Département du Zou et département Atlantique	Bord champ Domicile	Crédit Comptant
Graines de néré	Départements Collines et Donga, Nord Togo Département du Zou	Marchés	Comptant
Soja	Département du Zou	Bord champ Marché Domicile	Comptant Crédit

Source : enquête de terrain-Lares 2008.

### 3.5. Potentiel et capacité de transformation

L'estimation de la capacité intrinsèque de production des transformatrices des différents produits pose des problèmes méthodologiques en relation avec la nature des entreprises artisanales informelles. En effet, aucune des unités de production n'enregistre les quantités de matières utilisées, encore moins les quantités de dérivés obtenus au bout du processus de transformation. Le rythme de la production varie d'une saison à l'autre, et en fonction de la taille de l'unité.

De même la motivation des transformatrices varie selon les produits. Par exemple, la transformation de l'arachide est beaucoup plus motivée par la production de galettes de klui-klui que de l'huile. La fabrication de l'huile de qualité supérieure est faite sur commande auprès des transformateurs/trices.

Les quantités transformées varient en fonction de la taille et du niveau d'équipement des unités de production et aussi, de la disponibilité des matières premières et de la nature du produit. Dans l'ensemble, le volume de production par unité est plus élevé chez les transformatrices d'arachide et spécifiquement dans le secteur de Cové, Zagnanado, qu'au niveau des autres produits.

De façon spécifique, l'offre des produits dérivés de l'arachide révèle une capacité théorique de production d'environ 650 sacs d'arachide par transformatrice par an à Cové contre environ 130 à Zagnanado, les deux communes qui constituent les principaux pôles de transformation de cet oléagineux dans la zone. Sur la base de nos hypothèses, cela donne des quantités moyennes de klui klui et d'huile d'arachide « label Agonli », obtenues qui se présentent comme suit (Tableau 8). Ce niveau de production permet d'estimer le chiffre d'affaire théorique d'une transformatrice moyenne à environ 8 190 000 FCFA en ce qui concerne l'huile d'arachide.

**Tableau 8.** Estimation de la quantité moyenne de production de klui klui et d'huile d'arachide par transformatrice et par an.

	Arachide coque (kg)		Arachide décortiquée (kg)		Intrant par semaine (sac)		Production par an					
							Kandé		Klui-klui (kg)		Huile (litre)	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
Min	34560	6720	33523	6518	13	3	201139	39110	26148	5084	12068	2347
Moy	43200	28093	41904	27251	16	10	251424	163503	32685	21255	15085	9810
Max	51840	67200	50285	65184	19	25	301709	391104	39222	50844	18103	23466
Min	4457	1240	4323	1203	2	0	25940	7217	3372	938	1556	433
Moy	6713	4598	6512	4460	3	2	39071	26758	5079	3479	2344	1605
Max	14100	16100	13677	15617	5	6	82062	93702	10668	12181	4924	5622

Source : enquête de terrain. Lares 2008.

La transformation d'huile de palme a été suivie dans deux communes : Cové et Agbangnizoun. Les estimations de la production situent le niveau de l'offre entre 500 et 850 litres en moyenne par an par transformatrice d'huile de palme ordinaire produite à Agbangnizoun, contre environ 3 500 litres par transformatrice à Cové. Valorisée au prix du marché, cette production génère un chiffre d'affaires qui oscille entre 2 275 000 FCFA et 525 500 FCFA par an selon les transformatrices et les communes considérées. La commune de Cové se positionne ainsi au premier rang pour les deux catégories d'huile.

### 3.6. La rentabilité des activités de transformation

L'analyse de la rentabilité économique et financière d'une activité constitue un important élément d'appréciation de la motivation des opérateurs présents dans ce secteur. La forte présence des femmes dans le secteur de la transformation a parfois fait douter certains analystes de la rentabilité de certaines activités perçues comme des niches de camouflage du sous-emploi ambiant dans le secteur des services en milieu rural (Tableau 9).



**Tableau 9.** Compte d'exploitation d'une opération de transformation (100 kg) de matières premières

	Prix achat matières premières	Assaison- nements	Main- d'œuvre	Bois de chauffe et eau	Total des charges	Vente	Total Recettes	Bilan
<b>Arachide</b>								
Klui-klui	103 900	5 000	2 000	1 500	112 400	117 260	154 290	41 890
Huile d'arachide						37 030		
<b>Noix de palme</b>								
Huile de palme	10 000		1 000	2 000	13 000	13 000	18 500	5 500
Résidu kpèbè + Cupra						5 500		
<b>Néré</b>								
Afitin	31 000	1 000	2 000	1 500	35 500	45 000	45 000	9 500
<b>Soja</b>								
Fromage de soja	15 000	6 000	2 000	1 000	24 000	45 000	45 000	21 000

Source : enquête de terrain. Lares 2008.

### 3.7. Commercialisation des produits dérivés ciblés

La commercialisation de la moutarde, de l'huile rouge, du zomi, des galettes de klui klui et du fromage de soja implique des acteurs fort variés, des circuits de distribution dont les ramifications vont au-delà du département du Zou. Elle est dominée par les commerçants forains. Les transformatrices se positionnent plus dans la distribution locale ou de proximité et animent les circuits courts. La fonction de transformatrice se confond de ce fait avec celle de distributrice/commerçante dans les localités étudiées.

Le mode de distribution dominant au niveau local est la vente au détail notamment pour les produits tels que l'afitin, le fromage de soja et le klui-klui. Il est assuré par toute une catégorie de détaillantes qui animent les marchés urbains et les principaux points de stationnement des véhicules et les carrefours urbains.

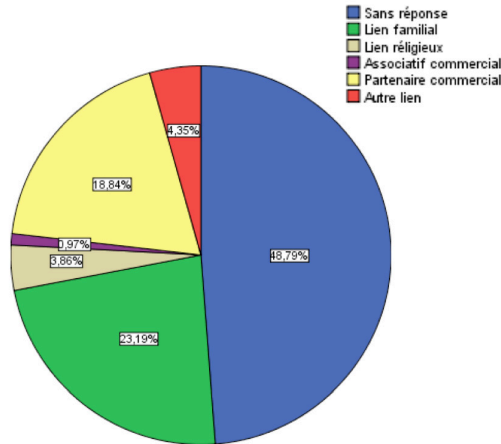
Le marché, en dépit de son apparente inorganisation s'est doté de modes de régulation qui transparaissent dans les stratégies déployées par les différents acteurs tant au niveau de l'approvisionnement que de la distribution. Son fonctionnement repose sur un réseau d'acteurs dont le niveau du capital social s'appuie particulièrement sur des particularismes socio-culturels qui parfois ont donné naissance à des appellations d'origine contrôlée, à des spécificités de milieu.

### 3.8. Structuration et réseautage des commerçants et stratégies de distribution des produits

Le niveau d'organisation des commerçantes des produits agro-alimentaires dans le Zou est encore lâche. Ce constat corrobore la faible structuration du marché local de ces produits qui est encore largement dominé par un grand nombre de transformatrices/détaillantes. Les résultats des enquêtes indiquent que plus de 64 % des femmes engagées dans la commercialisation des produits ciblés fonctionnent de façon individuelle, sans un engagement formel dans une structure associative à caractère commercial.

Les rares associations existantes fonctionnent dans les marchés terminaux de consommation à l'instar de Dantokpa à Cotonou ou de Ouando à Porto-Novo. Dans le premier marché, existe et fonctionne l'association des femmes vendeuses de klui-klui d'Agonli. Regroupant des femmes commerçantes originaires de la région d'Agonli (Covè, Zagnanando

et Ouinhi), cette association est conçue comme une structure cognitive visant principalement la préservation du Label Agonli, tant au niveau de klui-klui que de l'huile d'arachide. Les commerçantes sont regroupées à un même endroit, situation qui offre une bonne opportunité de connexion avec la région d'origine des actrices et en même temps de collecte des produits. La commercialisation de l'un de ces produits originaires d'Agonli constitue un facteur de cooptation dans l'association et en même temps une barrière à l'entrée de ce marché pour d'autres acteurs (Figure 5).



**Figure 5.** Niveau de réseautage commercial des commerçantes (enquête de terrain. Lares 2008).

L'étendue du réseau, c'est-à-dire l'importance du capital social des acteurs, est fonction de l'envergure commerciale de chaque négociant, des produits sur lesquels ils se positionnent. Dans les lieux de vente, les relations sont établies entre les commerçantes d'un même produit (le plus souvent des grossistes), mais aussi avec les détaillantes qui s'approvisionnent chez elles.

### 3.9. Les flux et les circuits de commercialisation

La commercialisation des produits agro-alimentaires dans le Zou implique des flux et des circuits multiples. Cependant il est loisible de distinguer au plan spatial des flux et circuits locaux et régionaux et au point de vue directionnel, des flux sortant et entrant. Dans nombre des cas, les flux entrant introduisent des produits concurrents importés des pays voisins, voire du marché international.

#### 3.9.1. Les flux locaux

Les flux locaux partent principalement des marchés de collecte et autres centres de transformation vers les marchés de consommation des communes. Cependant, le plus important réceptacle des flux locaux demeure le doublet urbain Abomey-Bohicon. Les flux locaux brassent les plus importants volumes des transactions (56,7%). La ville de Bohicon, à elle seule capte environ le tiers des flux (27,03%). Sa position géographique au carrefour de plusieurs voies de communication explique sans nul doute le poids de cette ville dans les transactions régionales.

Les flux régionaux sont mal connus du fait du caractère très atomisé de l'offre et de l'absence d'une véritable structuration du marché à la base. Les transactions sont de ce fait très diffuses. Selon les résultats des enquêtes de terrain, les flux régionaux représentent environ 11 % des transactions, dont 8 % sont drainés vers la seule ville de Cotonou, le reste vers Ouando

et Glazoué. Ces flux portent principalement sur les huiles d'arachide et rouge ordinaire, le klui klui et le afitin. Les flux sortant en direction du Mono sont très faibles. Soulignons que le fromage de soja ne fait pas l'objet de transactions hors de la zone.

Cette orientation des flux nationaux laisse entrevoir l'existence d'importants pans de marché à conquérir pour les produits agro-alimentaires du département du Zou. Les grands centres urbains de consommation des régions méridionales pourraient être conquis si des stratégies commerciales idoines sont déployées (amélioration de la qualité des produits, leur labellisation pour mieux exploiter les niches de consommateurs et le développement d'actions de marketing).

Le niveau actuel de présence de ces produits sur les marchés des autres départements du pays est faible en lien avec la faible capacité de conquête de ces derniers. Si la forte présence de produits provenant du marché international ou régional (pays voisins) peut expliquer cette situation, il n'en demeure pas moins que les produits agro-alimentaires locaux ne sont pas encore suffisamment dotés d'instruments de défense de promotion de leur commercialisation. Le rapport qualité/prix qu'ils présentent ne leur garantit nullement une compétitivité vis-à-vis des produits provenant du marché international.

### 3.9.2. *Les flux exogènes*

Les flux entrant proviennent de deux sources essentielles et portent sur des produits spécifiques.

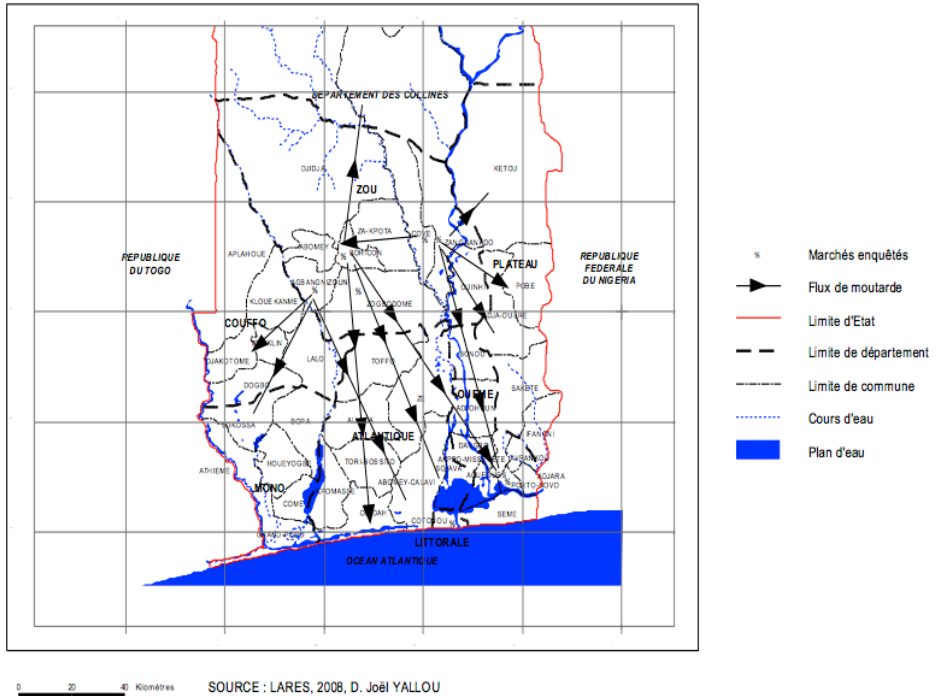
Les flux en provenance du Togo portent principalement sur des huiles blanchies de l'usine de NIOTO installée dans la zone franche du port de Lomé. Cette huile pénètre le département via les départements du Mono et du Couffo. Ces huiles qui bénéficient d'un meilleur conditionnement concurrencent non seulement les productions industrielles béninoises, mais également les produits de l'artisanat agro-alimentaire. L'appartenance du Bénin à l'UEMOA et même à la CEDEAO<sup>2</sup> ne permet pas de prélever des droits de douanes sur ces produits.

Les flux d'huile rouge en provenance du Ghana transitent par le marché international de Dantokpa. La qualité de cette huile serait inférieure à celle du Bénin, et de ce fait relativement moins chère, plus à la portée des consommateurs locaux à faible pouvoir d'achat.

Les flux de cubes maggi provenant du marché international et de fromage de lait de vache provenant des régions septentrionales du pays inondent également les marchés du Zou. Ces produits concurrencent la moutarde locale et le fromage de soja promus pour leurs vertus thérapeutiques et nutritionnelles et aussi pour le rôle qu'ils jouent comme sources de revenus pour les femmes en milieu rural et périurbains (Carte 1).

Le klui-klui, l'huile rouge et le afitin produits dans le Zou alimenteraient également des circuits d'exportation vers le Nigeria par des canaux informels. Les commerçants nigériens s'en procuraient dans les marchés locaux des communes de Zagnanado et de Ouinhi. Ils transitent ensuite par la localité de Kétou avant de les revendre sur les marchés de Illara et Imeko au Nigeria.

<sup>2</sup> L'Union Économique et Monétaire Ouest Africaine et la Communauté Économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) se sont dotées d'un schéma de libéralisation des échanges et même d'un marché commun qui accorde une franchise aux marchandises industrielles produites dans les pays de la communauté qui incorporent plus de 35 % de valeur ajoutée locale.



Carte 1. Exemple de flux de commercialisation de la moutarde.

## 4. Conclusion

Au terme de ce travail, on peut retenir que le afitin connaît une réputation sur le plan national notamment dans les régions méridionales du pays, ce qui crée plus de facilité pour dépasser les niches de consommation actuelles si on améliore les conditions de production, mais elle manque de stratégies de conservation à longue durée.

Il existe encore des parts de marché à conquérir. Une amélioration de la qualité et de l'emballage de l'huile d'arachide pourra contribuer à augmenter la demande du produit.

Aussi, il serait utile de réorganiser la commercialisation du produit en créant des mini bourses dans le milieu.

Une amélioration de la qualité et de la présentation du klui-klui pourra contribuer à augmenter la demande du produit.

Le département du Zou pourrait s'appuyer sur le PRSA pour réhabiliter les plantations villageoises traditionnelles notamment dans les communes de Covè, Ouinhi, Djidja, Zogbodomey et Agbangnizoun et accroître substantiellement la production départementale des noix de palme.

Il est aussi important de mettre en place une politique qui puisse permettre de mieux valoriser l'usine de Kinta, comme par exemple améliorer l'emballage du produit afin qu'il soit plus compétitif sur le marché.

L'élargissement du spectre de commercialisation du fromage de soja pose un véritable problème car ce produit ne fait pas encore partie des habitudes alimentaires de la population béninoise malgré sa haute valeur nutritive.

## Bibliographie

- Adégbola et al., 2003. Compétitivité de la filière riz du Bénin dans l'économie internationale, PAPA/ INRAB ? Porto-Novo. In : 24<sup>ème</sup> session du conseil des ministres de l'ADRAO tenue du 17 au 19 septembre 2003. Cotonou, 20 p.
- Agohoungbo N., 1995. *Production et commercialisation de l'igname et du manioc dans le département du Zou*. Mémoire de Maîtrise en Géographie, UNB, Abomey-Calavi, 126 p.
- Avohou E.S., 2006. *Production et commercialisation des Egusi dans la Commune de Glazoué (Département du Zou)*. Mémoire de Maîtrise de Géographie, FLASH/UAC, 96 p.
- INSAE, 2013. *Recensement Général de Population et de l'Habitat*. Ministère du Plan. Février 2002. Cahier des villages et quartiers de villes. Département du Zou. Direction des études démographiques, Cotonou, 29 p.
- MAEP, 2006. *Déclaration de politiques de développement rural*. Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche, Cotonou, 47 p.
- Singbo A.T., 2000. *Performance du système de commercialisation des denrées vivrières dans le secteur de Toffo*. Mémoire de Maîtrise en Géographie, 143 p.

## Évaluation du sorgho (*Sorghum bicolor*) pour la résistance au striga (*Striga hermonthica*) en milieu paysan au Tchad en 2008-2009

Nekouam Ndomian, Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement,  
E-mail : nnekouam@yahoo.com

### Résumé

Le sorgho, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, fait partie des principales cultures vivrières du Tchad mais il est très attaqué par des ennemis tel que *Striga hermonthica* (Del.) Benth. Pour lutter contre cette adventice, des approches utilisant la résistance variétale ont été engagées pendant trois campagnes agricoles (2005-2008) en milieu contrôlé et les entrées prometteuses ont été évaluées en milieu paysan durant la campagne 2008-2009. Il y a eu cinq sites (Bébédjia, Deli, Békao, Koudoti et Ndaba). L'objectif du travail a été d'évaluer quelques entrées de sorgho pour la résistance à *S. hermonthica* en milieu paysan. Le sorgho testé a été constitué de quatre entrées dont trois issues des croisements SRN39 (variété résistante au striga et de mauvaise qualité organoleptique) X GWS (variété sensible au striga et de bonne qualité organoleptique) et un témoin local. Les trois entrées SRN39 X GWS ont été les suivantes : 50, 53 et 75. Les dispositifs expérimentaux ont été les blocs de Fisher avec quatre traitements et cinq répétitions. Les observations sur le striga ont porté sur le comptage des plants de striga, la biomasse fraîche et sèche de striga. Les observations sur le sorgho ont porté sur le nombre de poquets germés et la vigueur des plantules deux semaines après semis, la date de 50 % floraison, la sévérité du striga, le nombre d'épis récoltés par parcelle, le poids d'épis par parcelle, le poids de grains par parcelle et le poids de 1 000 grains. Une entrée prometteuse a été sélectionnée à Bébédjia et Ndaba (53), puis deux à Deli et Koudoti (50 et 53). Aucune entrée n'a été sélectionnée à Békao. Sur le plan technique, la sélection de ces deux entrées de sorgho résistantes au striga pourrait accroître durablement les productions vivrières en Afrique.

### Evaluation of sorghum (*Sorghum bicolor*) for striga (*Striga hermonthica*) resistance in farmer field in Chad in 2008-2009

The sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, is among main staple crops of Chad but it is very attacked by enemies like *Striga hermonthica* (Del.) Benth. For controlling this weed, resistance variety methods were engaged during three cropping seasons (2005-2008) in controlled conditions and promising entries were evaluated in farmer field in 2008-2009 season. There were five sites (Bébédjia, Deli, Bekao, Koudoti and Ndaba). The work objective was to evaluate some sorghum entries for *S. hermonthica* resistance in farmer field. Sorghum tested was composed of four entries which three issued from SRN39 (variety resistant to striga and bad for consumption) X GWS (susceptible variety to striga and good for consumption) crosses and one local check. The three SRN39 X GWS entries were the following: 50, 53 and 75. Experimental designs were Fisher blocks with four treatments and five replications. Striga observations were based on striga plant count, fresh and dried striga biomass. Sorghum observations were based on number of germinated holes and seedling vigour at two weeks after sowing, date of 50% flowering, striga severity, number of harvested panicles per plot, weight of panicles per plot, weight of grains per plot and weight of 1 000 grains. One promising entry was selected at Bébédjia and Ndaba (53), and two at Deli and Koudoti (50 and 53). No entry was selected at Bekao. In terms of techniques, the selection of these two striga resistant sorghum entries could enhance sustainably crop productions in Africa.

## 1. Introduction

Le sorgho, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, céréale du genre *Sorghum*, de la famille des Gramineae et de la tribu Andropogoneae (Doggett, 1988), est originaire d'Afrique (Hill,

Waller, 1988). C'est une plante de jour court (Gibbon, Pain, 1985). Le nom sorgho est dérivé du verbe latin «surgere» signifiant «se lever» (Hulse et al., 1980). Jadis, le sorgho était classé parmi les céréales mineures avec peu d'intérêt (Good, 1933). Maintenant, il fait partie des principales cultures vivrières (Taylor, 1999) et est devenu économiquement important (Hulse et al., 1980; Watson, Dallwitz, 1992). Dans la classification mondiale des céréales, le sorgho occupe le quatrième rang après le blé, le riz et le maïs (Gibbon, Pain, 1985) bien que Doggett (1988) l'ait placé cinquième après le blé, le riz, le maïs et l'orge.

Le sorgho a plusieurs ennemis dont l'adventice *Striga hermonthica* (Del.) Benth. Cette espèce appartient à la famille Scrophulariaceae (Musselman, 1987). *S. hermonthica*, sérieuse adventice des cultures tropicales céréalères, occasionne des pertes de récolte de 0 à 100% (Agrios, 1988).

Au Tchad, le sorgho, fait partie des principales cultures vivrières (Nekouam, 1997; 1998; Kagne, 2001) mais il est très attaqué par *S. hermonthica* (Musselman, 1987; Agrios, 1988; Nekouam, 1993). Pour lutter contre cette adventice, des approches utilisant la résistance variétale ont été engagées pendant trois campagnes agricoles (2005-2008) en milieu contrôlé et les entrées prometteuses ont été évaluées en milieu paysan durant la campagne 2008-2009.

De 2005-2006, une expérimentation de 210 entrées de sorgho pour la résistance à *S. hermonthica* a été conduite à la Station de Bébédjia. Il y a eu 55 entrées prometteuses qui ont été sujettes à une expérimentation en 2006-2007. Les résultats de 2006-2007 ont permis de cribler huit entrées prometteuses sujettes à l'expérimentation de 2007-2008. À ces 8 entrées se sont ajoutés leurs deux parents pour faire un total de 10 traitements. Trois entrées prometteuses issues des résultats de 2007-2008 ont été évaluées en milieu paysan en 2008-2009 avec un témoin local, i.e., quatre entrées par site. Il y a eu huit sites : Bébédjia, Deli, Moussafoyo, Békao, Béhongo, Koudoti, Ndaba et Ngoko.

## 2. Matériel et méthodes

Le sorgho testé était constitué de quatre entrées dont trois issues des croisements SRN39 X GWS et un témoin local. Les trois entrées SRN39 X GWS ont été les suivantes : 50, 53 et 75. La variété SRN39 est une variété originaire du Soudan, résistante au striga et de mauvaise qualité organoleptique. Par contre, la variété GWS est une variété originaire du Tchad, sensible au striga et de bonne qualité organoleptique. Les croisements entre SRN39 et GWS ont été faits à la Station de Bébédjia en 1997 pour avoir les descendances 50, 53 et 75 parmi tant d'autres. Les sites d'expérimentation ont été localisés dans la zone soudanienne d'isohyète 1200 mm, avec des sols sableux-argileux et avec une moyenne de température ambiante de 30-35°C.

Les dispositifs expérimentaux ont été les blocs de Fisher avec : 4 traitements, 5 répétitions (5 paysans par site), écartements de semis 0.80 m × 0.30 m, parcelle élémentaire 4 lignes de 10 m, parcelle utile 2 lignes de 10 m ou 16 m<sup>2</sup> (2 × 0.80 m × 10 m), semis de 5 à 7 graines par poquet et démariage à 2 plants par poquet un mois après semis, allée de 2 m autour de l'essai, surface totale de 224 m<sup>2</sup> par paysan ou répétition (14 m × 16 m). La quantité de semences par parcelle avec possibilité de ressemis a été de 50 g. Autrement dit : 10 graines/poquet × 34 poquets/ligne × 4 lignes × 0.03 g/graine = 40.80 g = 50 g soit 5 × 50 g ou 250 g pour 5 répétitions.

Les observations sur le striga ont porté sur le comptage des plants de striga toutes les deux semaines dès sa première date d'apparition, la biomasse fraîche et sèche de striga. Les observations sur sorgho ont porté sur le nombre de poquets germés et la vigueur des plantules deux semaines après semis selon l'échelle 1-5 où 1 = Excellent et 5 = Mauvais, la date de 50 % floraison, la sévérité du striga sur le sorgho à la floraison selon l'échelle 1-9 où 1 = pas de



symptôme et 9 = brûlure sur toute la surface foliaire avec des plantes mortes, le nombre d'épis récoltés par parcelle, le poids d'épis par parcelle, le poids de grains par parcelle et le poids de 1 000 grains. Les analyses statistiques ont porté sur les analyses de variances avec accent sur la moyenne, l'écart type, le coefficient de variation, le test F et la plus petite différence significative à 5 % (PPDS<sub>5%</sub>). Les nombres de plants de striga ont subi des transformations logarithmiques pour stabiliser les variances avant d'être soumis aux analyses statistiques. Les autres données ont été analysées sans transformation.

Les bonnes entrées de sorgho pour la résistance au striga, pour chaque variable, ont été celles qui ont été sélectionnées par rapport à la moyenne générale. Il y a huit variables : pourcentage des poquets germés ; vigueur des plantules de sorgho ; nombre de plants de striga ; sévérité de striga ; jours à 50 % de floraison ; biomasse fraîche de striga ; biomasse sèche de striga et poids des grains par parcelle. Pour le pourcentage des poquets germés et le poids des grains par parcelle, les bonnes entrées ont été celles qui ont eu des moyennes supérieures aux moyennes générales. Pour le reste des variables, les bonnes entrées ont été celles de moyennes inférieures aux moyennes générales. Les prometteuses entrées de sorgho pour la résistance au striga ont été celles qui ont rempli au moins 75 % des critères de sélection. Les meilleures entrées de sorgho pour la résistance au striga ont été les prometteuses à la fois dans tous les sites d'expérimentation.

### 3. Résultats et discussion

Les résultats de l'essai résistance du sorgho au striga en milieu paysan à Bébédjia, Deli, Békao, Ndaba et Koudoti sont présentés aux tableaux 1 et 2. Les bonnes et prometteuses entrées sont présentées au tableau 3. Les récapitulatifs des prometteuses entrées pour toute la zone soudanienne sont consignées au tableau 4. Les résultats des essais de Moussafoyo, Béhongo et Ngoko ne font pas l'objet de cette présentation parce qu'ils n'ont pas été conformes aux protocoles: essai de Moussafoyo à la Ferme au lieu de milieu paysan ; celui de Ngoko avec plusieurs entrées par parcelle au lieu d'une et celui de Béhongo avec une ligne par parcelle au lieu de quatre.

#### 3.1. Site de Bébédjia

Les analyses de variances du poids des grains par parcelle pour le site de Bébédjia, site représenté par le village de Maïnani, ont été significatives à 5 % (Tableau 1). Celles des autres variables n'ont pas été significatives (Tableaux 1 et 2). Les bonnes entrées de sorgho selon les différentes variables sont présentées au tableau 3. Il s'agit de deux entrées pour le pourcentage des poquets germés [53 et T (Ngoyenda)] ; deux pour le nombre des plants de striga (53 et 75) ; deux pour la sévérité de striga (50 et T) ; trois pour la biomasse fraîche de striga, la biomasse sèche de striga et le poids des grains par parcelle (50, 53 et 75). Aucune entrée n'a été bonne pour la vigueur des plantules de sorgho. Les nombres de bonnes entrées ont varié de zéro à trois.

Dans le site de Bébédjia, il y a eu une seule entrée prometteuse (entrée remplissant au moins 75 % des critères de sélection) : c'est l'entrée 53 (Tableau 3). Elle a été incluse dans des essais de caractérisation des entrées prometteuses pour la résistance au striga dans quatre sites (Station de Bébédjia et Fermes de Deli, Békao et Moussafoyo), depuis la campagne agricole 2009-2010.

#### 3.2. Site de Deli

Le site de Deli a été constitué de trois villages : Gari, Nangkassa et Kana-Ban. Selon les analyses de variances, seules les différences observées au niveau de la vigueur des plantules de

**Tableau 1.** Résultats des variables du sorgho de l'essai résistance du sorgho au striga en milieu paysan à Bébédjia (A), Deli (B), Békao (C), Ndaba (D) et Koudoti (E) en 2008-2009.

Entrée	% poquets germés					Vigueur plantules sorgho					Poids grains par parcelle (g)				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
50	50	67	86	74	73	2	1	3	3	3	275	527	490	293	658
53	58	70	86	78	66	2	1	3	2	2	475	473	560	309	671
75	55	63	86	73	70	2	2	4	3	3	300	487	360	243	612
T	61	51	84	77	76	2	4	3	3	2	0	0	1010	425	265
Moyenne	56	63	86	76	71	2	2	3	3	3	263	372	605	318	552
S	14.3	14.0	5.3	9.3	11.1	1.2	1.3	0.9	1.0	1.4	195.9	305.6	326.4	118.7	281.9
CV (%)	26	22	6	12	16	60	65	30	33	47	74	82	54	37	51
Test F	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	*	*	**	NS	NS
ppDS <sub>5%</sub>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	243	321	297	-	-

NB : NS = non significatif, \* = significatif à 5 %, \*\* = significatif à 1 %.

**Tableau 2.** Résultats des variables du striga de l'essai résistance du sorgho au striga en milieu paysan à Bébédjia (A), Deli (B), Békao (C), Ndaba (D) et Koudoti (E) en 2008-2009.

Entrée	No. plants striga [log (x+1)]					Sévérité striga					Biomasse fraîche striga (g) <sup>#</sup>					Biomasse sèche striga (g) <sup>#</sup>				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
50	0.26	0.80	0.17	0.30	1.65	2	2	2	3	4	22	53	0	163	22	23	0	47		
53	0.10	0.88	0.56	0.54	1.57	3	2	3	3	3	0	87	0	156	0	23	0	46		
75	0.16	1.35	0.43	0.78	1.74	3	3	3	3	4	1	287	0	231	1	53	0	67		
T	0.48	1.58	1.01	1.14	3.04	2	2	2	2	4	154	573	1000	976	120	143	500	238		
Moyenne	0.25	1.15	0.54	0.69	2.00	3	2	3	3	4	44	250	250	382	36	67	125	100		
S	-	0.501	0.659	0.721	0.720	-	0.7	0.9	0.8	1.2	-	283.5	-	389.0	-	68.2	-	91.2		
CV (%)	-	44	122	104	36	-	35	30	27	30	-	113	-	102	-	102	-	91		
Test F	-	NS	NS	NS	**	-	NS	NS	NS	NS	-	NS	-	**	-	NS	-	**		
PPDS <sub>5%</sub>	-	-	-	-	0.43	-	-	-	-	-	-	-	-	194	-	-	-	16		

NB : NS = non significatif, \*\* = significatif à 1 % ; # = sans Békao.

sorgho et au niveau du poids des grains par parcelle ont été respectivement significatives à 1 et 5 % (Tableau 1). Il y a eu deux mêmes bonnes entrées pour le pourcentage des poquets germés, la vigueur des plantules de sorgho, le nombre des plants de striga et la biomasse fraîche de striga (50 et 53); par ailleurs, trois mêmes entrées ont été bonnes pour la biomasse fraîche de striga, la biomasse sèche de striga et le poids des grains par parcelle (50, 53 et 75). Toutes ces informations sont contenues dans le tableau 3. L'entrée témoin T dite Doumkiro, signifiant résistant au striga en langue Ngambaye, n'a été bonne pour aucune variable.

Deux entrées ont été prometteuses au site de Deli : entrées 50 et 53 (Tableau 3). Elles ont fait partie des essais de caractérisation des entrées prometteuses pour la résistance au striga dans quatre sites (Station de Bébédjia et Fermes de Deli, Békao et Moussafoyo), à partir de la campagne 2009-2010.

### 3.3. Site de Békao

Le site de Békao a été représenté par le village Békao. Les analyses de variances de toutes les variables n'ont pas été significatives, sauf celles du poids des grains par parcelle qui l'ont été à 1 % (Tableau 1). Les données sur la biomasse fraîche de striga et biomasse sèche de striga n'ont pas été obtenues pour des raisons inconnues. C'est pourquoi elles n'ont pas été présentées au tableau 2. Les bonnes entrées de sorgho ont été au nombre de deux pour le nombre des plants de striga (50 et 75); deux pour la sévérité de striga [50 et T (Laogodji)] et un pour le poids des grains par parcelle (T). L'entrée témoin Laogodji a eu le rendement en grain le plus élevé; elle a eu 1 010 g par parcelle de 16 m<sup>2</sup> (631 kg/ha) alors que les entrées 50, 53 et 75 ont eu respectivement 490, 560 et 300 g par parcelle de 16 m<sup>2</sup>, soit respectivement 306, 350 et 300 kg/ha.

Selon les critères de criblage des entrées prometteuses, aucune entrée testée à Békao n'a été prometteuse, même le témoin Laogodji avec son rendement en grain le plus élevé. Autrement dit aucune entrée n'a rempli au moins 75 % des critères de sélection à Békao.

### 3.4. Site de Ndaba

Selon les analyses de variances, les différences observées au niveau de chaque variable n'ont pas été significatives (Tableaux 1 et 2). En d'autres termes, ces différences observées ont été aléatoires, i.e., dues au hasard. Néanmoins, selon les critères de sélection des bonnes entrées, il y a eu : deux bonnes entrées pour le pourcentage des poquets germés [53 et T (Gali)]; une pour la vigueur des plantules de sorgho (53); deux pour le nombre des plants de striga (50 et 53); une entrée pour la sévérité de striga et pour le poids des grains par parcelle (T); trois entrées pour la biomasse fraîche et sèche de striga (50, 53 et 75). Les nombres de bonnes entrées ont varié d'un à trois selon différentes variables.

L'entrée 53 a été la seule prometteuse à Ndaba (Tableau 3). Elle a, par la suite, fait partie des essais de caractérisation des entrées prometteuses pour la résistance au striga dans quatre sites (Station de Bébédjia et Fermes de Deli, Békao et Moussafoyo), à partir de la campagne 2009-2010.

### 3.5. Site de Koudoti

Selon les analyses de variances présentées aux Tableaux 1 et 2, seules les différences observées au niveau des variables suivantes ont été significatives à 1 % : nombre des plants de striga, biomasse fraîche de striga et biomasse sèche de striga. Les autres différences n'ont été qu'aléatoires. Selon le tableau 3, les bonnes entrées ont été au nombre de deux pour le pourcentage des poquets germés [50 et T (Gop)]; un pour la vigueur des plantules de sorgho

**Tableau 3.** Bonnes et prometteuses entrées de sorgho pour la résistance au striga en milieu paysan à Bébédjia (A), Deli (B), Békao (C), Ndaba (D) et Koudoti (E) selon différentes variables en 2008-2009.

Entrée	Bonne entrée																Prometteuse entrée																		
	% poquets germés					Vigueur plantules sorgho					No. plants striga					Sévérité striga					Biomasse fraîche striga <sup>#</sup>					Biomasse sèche striga <sup>#</sup>					Poids grains par parcelle				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E					
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E					
50	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
53	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
75																																			
T	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+					
Total	2	2	0	2	0	1	2	2	2	3	2	0	2	1	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	3	1	2	0	1				

NB : + = entrée sélectionnée; # = sans Békao.

et la sévérité de striga (53); trois pour le nombre des plants de striga, la biomasse fraîche de striga, la biomasse sèche de striga et le poids des grains par parcelle (50, 53 et 75). Toutes ces entrées testées ont eu des rendements en grains supérieurs à celui du témoin local Gop (Tableau 1).

Deux entrées ont été prometteuses au site de Koudoti : entrées 50 et 53 (Tableau 4). Elles ont fait partie des essais de caractérisation des entrées prometteuses pour la résistance au striga dans quatre sites (Station de Bébédjia et Fermes de Deli, Békao et Moussafoyo), à partir de la campagne 2009-2010.

**Tableau 4.** Récapitulatifs des entrées prometteuses de sorgho pour la résistance au striga en milieu paysan à Bébédjia, Deli, Ndaba et Koudoti selon différentes variables en 2008-2009.

Site	Entrée	% poquets germés	Vigueur plantules sorgho	No. plants striga log (x + 1)	Sévérité striga	Biomasse fraîche striga (g)	Biomasse sèche striga (g)	Poids grains par parcelle (g)
Bébédjia	53*	58	2	0.10	3	0	0	475
Deli	50	67	1	0.80	2	53	23	527
	53*	70	1	0.88	2	87	23	473
Ndaba	53*	78	2	0.54	3	0	0	309
Koudoti	50	73	3	1.65	4	163	47	658
	53*	66	2	1.57	3	156	46	671

NB : \* = meilleure entrée pour la résistance au striga car à la fois prometteuse dans tous les sites hormis Békao.

## Bibliographie

- Agrios G.N., 1988. *Plant Pathology*. 3<sup>rd</sup> Ed. Academic Press, San Diego (CA), USA.
- Doggett H., 1988. *Sorghum*. 2<sup>nd</sup> Ed. Longman Group, Harlow, UK.
- Gibbon D., Pain A., 1985. *Crops of the Drier Regions of the Tropics*. Longman, London.
- Good R., 1933. *Plants and Human Economics*. Cambridge University Press, London.
- Hill D.S., Waller J.M., 1988. *Pests and Diseases of Tropical Crops*. Vol. 2. Longman Group, Harlow, UK.
- Hulse J.H., Laing E.M., Pearson O.E., 1980. *Sorghum and the Millets: Their Composition and Nutritive Value*. Academic Press, London.
- Kagne P., 2001. Valorisation des produits à base de sorgho au Tchad. In: Akintayo I., Sedogo J. (eds). *Towards Sustainable Sorghum Production, Utilization, and Commercialization in West and Central Africa*. West and Central Africa Sorghum Research Network, Bamako, p. 52-57.
- Musselman L.J., 1987. Taxonomy of witchweeds. In: Musselman L.J. (ed.). *Parasitic Weeds in Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, p. 3-12.
- Nekouam N., 1993. Situation de la recherche sur le striga au Tchad. In: Lagoke S.T.O., van der Straten L.E., Mboob S.S. (eds). *Integrated Management of Striga for the African Farmer*. PASCON General Workshop, Harare, p. 62-3.
- Nekouam N., 1997. Sorghum grey leaf spot in Chad. *African Crop Science Conference Proceedings*, **3**, 947-950.
- Nekouam N., 1998. Inventaire de quelques maladies fongiques du sorgho au Tchad. *Revue Scientifique du Tchad*, **5**(1), 5-12.
- Taylor T.A., 1999. *Crop Pests and Diseases*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Watson L., Dallwitz M.J., 1992. *The Grass Genera of the World*. CAB International, Wallingford, UK.



5

**Produits alimentaires et nutrition**





Rastoin Jean-Louis, Chaire UNESCO et réseau Unitwin en « Alimentations du monde », E-mail : [rastoin@supagro.inra.fr](mailto:rastoin@supagro.inra.fr) – <http://www.chaireunesco-adm.com/>

## Résumé

Cet article traite du rôle de l'innovation pour contribuer à l'évolution des filières agroalimentaires vers des modèles plus durables. En premier lieu, un diagnostic des systèmes agroindustriel et traditionnel est posé et aboutit au constat d'un grave état d'insécurité alimentaire à l'échelle planétaire. Ce bilan suggère de promouvoir des filières agroalimentaires alternatives fondées sur la durabilité, la proximité et la solidarité permettant de construire des « systèmes alimentaires territorialisés ». Une telle stratégie suppose un effort soutenu d'innovation à tous les maillons des filières : agriculture (nouveaux itinéraires techniques fondés sur l'agroécologie), industrie et artisanat agroalimentaires (nouvelles technologies basées sur l'écoconception, la logistique, et surtout en matière de mode d'organisation et de gouvernance.

## Innovation in sustainable and accountable agri-food chains

The paper deals with the role of innovation to contribute to the evolution of food chains towards more sustainable models. First, a diagnosis of agribusiness and traditional systems is made and leads to the finding of a serious state of food insecurity on a global scale. This assessment suggests promoting alternative food chains based on sustainability, proximity and solidarity to build « food systems territorialized ». Such a strategy requires on going innovation in all industry segments: agriculture (new crop based agro-ecology), food industry and local crafts (new technologies based on eco-design), logistics, and especially for mode of organization and governance.

## 1. Introduction

L'innovation doit se raisonner non pas en termes de moyen, mais en termes de fin. L'objectif de l'innovation s'inscrira en conséquence, dans un contexte de crise polysémique, comme un outil au service du développement durable des territoires. Pour le système alimentaire et ses filières, il s'agira prioritairement de participer au processus de construction d'une sécurité alimentaire pour tous, à l'échelle des régions, des pays et du monde. En Afrique, continent émergent de 2<sup>e</sup> génération, s'installe, comme sur tous les continents, un système alimentaire agro-industriel de masse (SAM) intensif, spécialisé, concentré, globalisé et financiarisé qui tendra à devenir hégémonique si un scénario alternatif ne parvient pas à se mettre en place. Le SAM a su répondre à certaines des questions posées par la croissance démographique en fournissant aux mégapoles – grâce à de formidables gains de productivité fondés sur une substitution capital/travail – une nourriture abondante, bon marché et relativement sûre du point de vue bactériologique. Cependant, ce système génère de lourdes externalités négatives au triple plan de la santé publique, de l'équité sociale et de l'environnement : explosion des maladies d'origine alimentaire et des zoonoses virales, délocalisations productives, destruction d'emplois, partage inéquitable de la valeur dans les filières, épuisement des ressources naturelles et pollution de grande ampleur. Dans le même temps, le système alimentaire traditionnel reste basé sur des agricultures plus diversifiées et des exploitations de très faible dimension – voire des paysans sans terre –, des unités de transformation artisanales et des circuits commerciaux encombrés d'intermédiaires, des filières peu organisées. Ce système se caractérise par une très faible productivité et donc des prix élevés des aliments – générant une pauvreté de

masse –, et une qualité sanitaire médiocre des aliments, avec une sous-alimentation frappant jusqu'au tiers de la population dans certains pays. Par contre, les systèmes alimentaires traditionnels maintiennent la biodiversité et, lorsque les produits sont accessibles, des diètes de meilleure qualité nutritionnelle et un modèle de consommation plus convivial. Le bilan du système alimentaire contemporain qui voit une cohabitation des modèles agroindustriel et traditionnel à parts égales (environ 50 % de l'humanité chacun en 2012) est celui d'un échec de grande ampleur si on le mesure à l'aune du droit à l'alimentation inscrit dans la Déclaration universelle des droits de l'homme de 1948 et à celle de la sécurité alimentaire et nutritionnelle telle que définie par le CSA<sup>1</sup>. En effet, plus de 40 % de la population mondiale est mal nourrie : 2 milliards de personnes en état de sous-alimentation ou de carences alimentaires (donc 870 millions en déficit calorique) (FAO et al., 2012) et plus d'un milliard souffrant d'obésité et de maladies non transmissibles d'origine alimentaire expliquant plus de 50 % de la mortalité mondiale selon les statistiques de l'OMS. Non seulement les objectifs du sommet mondial de l'alimentation de 1996 (FAO) et ceux du Millénaire pour le développement (ONU) pour 2015 (réduire le nombre de sous-alimentés de moitié depuis 2000) ne seront pas atteints, mais la morbidité alimentaire augmente partout. Le monde se trouve donc confronté à une crise majeure de son système alimentaire. À cette crise s'ajoutent les problèmes très préoccupants du réchauffement climatique (impact sur les récoltes), des nuisances écologiques, du chômage croissant (particulièrement celui des jeunes), de la montée des disparités économiques au sein des pays et entre les pays (accaparement des richesses par le « 1 % »), de l'extrême volatilité des marchés et donc des revenus des agriculteurs et des chefs d'entreprises agroalimentaires, particulièrement des PME et TPE.

De nombreux travaux de prospective agricole et alimentaire se sont intéressés à l'horizon 2050 (e.g. Paillard et al., 2010). Tous concluent à la possibilité de nourrir « globalement » les 9 milliards d'habitants qui peupleront notre planète à cette date. Ces travaux montrent aussi que le problème d'une répartition adéquate de la nourriture entre les hommes sera très difficile à résoudre. Il s'agira également d'être très attentif aux contraintes des ressources en eau, en terre, en énergie, de la qualité des produits (notamment nutritionnelle), de l'allocation des facteurs de production (en particulier la terre) aux différentes productions, de l'environnement économique (instabilité des marchés), des nuisances écologiques (réduction de la biodiversité, pollutions agrochimiques). Le scénario tendanciel de généralisation du modèle agroindustriel se heurte à de multiples obstacles dont le plus handicapant semble être celui de la contraction des emplois : il existe en effet 500 millions d'exploitations agricoles dans le monde aujourd'hui faisant vivre environ 2,5 milliards de personnes, dont plus de 520 millions en Afrique au Sud du Sahara (Beaujeu et al., 2011). Appliquer un modèle d'affaires semblable à celui suivi par les pays occidentaux, avec une division par un facteur compris entre 10 et 100 du nombre d'exploitations agricoles (soit dans une hypothèse extrême, mais techniquement et économiquement possible, de 500 000 exploitations agricoles pour nourrir le monde en 2050) paraît socialement inacceptable, de même qu'une concentration drastique du nombre d'entreprises de l'industrie et du commerce agroalimentaires, dont le résultat serait de désertifier d'immenses zones à travers le monde.

En conséquence, il apparaît indispensable de réfléchir à un scénario alternatif fondé non pas sur « l'envergure » et la seule valeur monétaire des biens et services (Orléan, 2011), mais sur la « proximité » et la « solidarité », et donc d'autres valeurs, plus aptes à satisfaire aux critères d'un « développement alimentaire durable ». Nous nommons un tel scénario « système alimentaire territorialisé » (SAT) (Rastoin, 2012). Le SAT se caractérise par un modèle de consommation proche des habitudes locales de consommation alimentaire, et donc par des produits différenciés élaborés en circuit court (proximité de la matière première agricole et de

la transformation artisanale ou industrielle), de bonne qualité organoleptique et porteurs de lien

<sup>1</sup> CSA : Comité de la sécurité alimentaire, placé auprès de la Fao à Rome et réactivé en 2009.

social et culturel. Les acteurs du SAT sont des exploitations agricoles familiales capitalisées diversifiées pratiquant la pluriactivité et des TPE et PME agroalimentaires fonctionnant en réseau. Ce modèle n'est évidemment pas régressif (maintien ou retour au modèle agricole traditionnel). Il s'appuie au contraire sur l'innovation, non pas au niveau intrinsèque des produits (les nutritionnistes s'entendent sur la haute qualité des diètes alimentaires régionales, par exemple méditerranéenne ou japonaise), mais à celui de technologies adaptées à des petits formats d'entreprise et de l'organisation (mutualisation des intrants et des ressources naturelles et humaines, nouveaux circuits de commercialisation tels que la vente directe ou les boutiques de produits de terroir). L'information du consommateur se fait, non pas par des marques privées d'entreprises, car l'investissement nécessaire serait trop lourd, mais par des labels, notamment les indications géographiques (AOP, IGP) disposant d'un cadre institutionnel original et robuste dans l'Union européenne, des marques collectives régionales et de la publicité générique mobilisant des arguments nutritionnels et culturels. La gouvernance est mixte, à travers le marché et la régulation publique (Rastoin, Gheris, 2010).

L'émergence du SAT s'observe dans les pays à haut revenu, par réaction des consommateurs au formatage agroindustriel. On constate ainsi une préférence croissante pour les produits bios et de haute qualité certifiée (exemple du label rouge en France), pour la fabrication agroalimentaire artisanale et les circuits courts. Une étude récente de la Commission européenne montre ainsi que le chiffre d'affaires en 2010 des produits à indication géographique dans l'UE dépassait 52 milliards d'euros de (6% du marché alimentaire total), avec un taux de croissance très supérieur à la moyenne du marché (12% entre 2005 et 2010, contre moins de 6%). Dans les pays en développement, et particulièrement en Afrique où le taux d'urbanisation est moindre et où la « mémoire alimentaire » est encore présente, le schéma agroindustriel ne constitue pas une étape incontournable, au contraire !

Cependant, le SAT, pour prendre son essor, nécessite d'importants investissements en R&D et en formation pour compenser le handicap de sa faible compétitivité actuelle. L'effort d'innovation doit porter sur les matières premières (itinéraires techniques agricoles agroécologiques, amélioration des rendements), les produits agroalimentaires (amélioration de la qualité sanitaire et de l'emballage), les *process* (performance des unités de transformation de petite taille), les circuits commerciaux (logistique, contrats de filières), le management des exploitations agricoles et des entreprises agroalimentaires et commerciales. Cet effort implique une révision des budgets publics et un redéploiement des fonds vers la création de véritables filières territorialisées.

La prospective débouche généralement sur un « futur probable » résultant de la combinaison entre les différents scénarios construits. Ici, on peut envisager non pas un système alimentaire mondial hégémonique, mais la co-habitation d'une mosaïque de systèmes alimentaires régionaux, avec des spécificités territoriales, incluant à la fois des SAM (pour nourrir les très grandes agglomérations urbaines) et des SAT (pour alimenter les zones rurales, rurales et les villes moyennes), sous réserve toutefois que des politiques publiques agricoles et alimentaires « durables et responsables » robustes soient édifiées. En effet, le rouleau compresseur de la convergence alimentaire mondiale est à l'œuvre du fait des comportements de consommateurs et de producteurs façonnés par l'économie de marché généralisée. Il est donc vital (il s'agit d'alimentation humaine) et urgent d'agir pour un futur souhaitable, dès lors que les SAT présentent l'avantage d'associer en synergie positive, paysans, entrepreneurs et consommateurs. L'Afrique, qui rassemblera le quart de la population mondiale en 2050 et héberge dès à présent de nombreux projets de recherche/action sur le thème « nourrir les villes et développer les campagnes », pourrait constituer un très intéressant laboratoire d'idées et d'expériences pour aider à construire une planète alimentaire plus dense en SAT.

## Bibliographie

- Beaujeu R., Kolié M., Sempere J.F., Uhder C., 2011. *Transition démographique et emploi en Afrique subsaharienne. Comment remettre l'emploi au cœur des politiques de développement*. AFD, Paris. 215 p. <http://www.afd.fr/webdav/site/afd/shared/PUBLICATIONS/RECHERCHE/Scientifiques/A-savoir/05-A-Savoir.pdf>
- FAO, FIDA, PMA, 2012. *L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde 2012. La croissance économique est nécessaire, mais elle n'est pas suffisante pour accélérer la réduction de la faim et de la malnutrition*. FAO, Rome, 73 p.
- Orléan A., 2011. *L'empire de la valeur. Refonder l'économie*. Le Seuil, Paris, 340 p.
- Paillard S., Treyer S., Dorin B. (coord.), 2010. *Agrimonde : Scénarios et défis pour nourrir le monde*. Quæ, Versailles, France, 295 p.
- Rastoin J.L., 2012, Editorial. Le concept de « filières territorialisées » : nouvel attrape-mouche ou réelle innovation ? *Économies et Sociétés*, **34**(10-11), p. 1881-1885.
- Rastoin J.L., Gherzi G., 2010. *Le système alimentaire mondial : concepts et méthodes, analyses et dynamiques*. Quæ, Versailles, France, 565 p.

## Production de pain à base d'une farine composée de blé-taro au Cameroun : Étude technique

Panyoo Emmanuel A., Njintang Nicolas Y., Mbofung Carl M.F.,  
University of Ngaoundere, Cameroun, E-mail : panyoo2007@yahoo.fr  
Gaiani Claire, Scher Joël, Université de Lorraine, Vandoeuvre-lès-Nancy, France

### Résumé

L'Afrique subsaharienne souffre d'un problème d'utilisation en excès du blé pour la fabrication du pain. Or, le blé utilisé provient exclusivement de l'importation. Afin de réduire cette importation, les pays comme le Cameroun sont contraints de trouver d'autres matières premières locales disponibles afin de produire des farines composées pour la préparation du pain. C'est le cas notamment du taro (*Colocasia esculenta*). Cependant, les études de substitution de la farine de blé par le taro ont montré un taux d'incorporation de 10% seulement. Ce taux de substitution étant faible pour une rentabilité industrielle de la farine de taro. Il devient donc intéressant d'optimiser les conditions de préparation du pain à base de farine composée de blé-taro. Les ingrédients utilisés à des proportions (10% à 30%), (0% à 5%) et (65% à 100%) respectivement pour le taro (*Colocasia esculenta*), la gomme (*Grewia mollis*) et le blé. Les pâtons et les pains obtenus ont été comparés sur les plans rhéologiques et sensoriels. Les taux de 2,5% d'incorporation de la gomme et 25% de taro représentent les valeurs optimales de préparation du pain. L'incorporation de la gomme *Grewia mollis* a permis d'améliorer les propriétés viscoélastiques des pâtons, permettant ainsi d'augmenter la quantité de taro à incorporer dans la farine composée. L'incorporation farine de taro dans la fabrication du pain pourrait être un moyen de réduire les dépenses liées à l'importation du blé.

### Preparation of bread with wheat-taro flour in Cameroon. Technical study

Sub-Saharan Africa suffers from a problem of excessive use of wheat for bread making. The wheat used is exclusively come from import. In order to reduce this import countries like Cameroon are forced to find other local raw materials available to produce composite flour for bread making. This is the case of taro (*Colocasia esculenta*). But previous studies of the substitution of wheat flour with taro showed an incorporation rate of 10% only. This substitution rate is low for industrial profitability of taro flour. That is why this study optimized the preparation of bread made from wheat-taro flour. The ingredients were used as follow: 10% to 30%, 0% to 5%, 65% to 100% respectively for taro *Colocasia esculenta*, gum of *Grewia mollis* and wheat. Dough and bread were analyzed on rheological and sensory plans. The 2.5% of gum incorporation and the 25% of taro were the optimal values for the preparation of bread. Incorporation of *Grewia mollis* gum was found to improve the viscoelastic properties of the dough, thereby increasing the amount of taro to incorporate composite flour. This level of incorporation of taro flour in bread making could be a way to reduce cost related to wheat import.

## 1. Introduction

Les pays africains importent exclusivement du blé pour la préparation des produits pâtisseries. En effet, en 2010, l'Afrique subsaharienne a importé 12,3 millions de tonnes de blé et le Cameroun environ 422 000 tonnes pour une valeur estimée à 10 milliards de francs CFA (Weigand, 2011).

Dans le but de réduire l'importation du blé, une substitution partielle de la farine de blé, par des denrées locales à potentiel boulanger, représente depuis près de 30 ans une solution alternative non négligeable. Cette option est en effet susceptible de réduire en partie le déséquilibre de la balance commerciale régulièrement observée dans ces différents pays. Parmi les produits locaux figurent des tubercules tels le manioc, la patate, le taro.

Les travaux qui abordent les farines composées de blé et d'autres produits montrent que leur utilisation dans la panification et la pâtisserie est récente à travers le monde. Trois types de raisons essentielles selon les régions semblent justifier son développement : économiques, sociales et sanitaires (Shittu et al., 2009).

Dans les pays en voie de développement, l'utilisation des farines composées reste justifiée par des raisons économiques, tandis que dans les pays de l'Union Européenne, de l'Amérique du Sud et de l'Asie, elle est justifiée pour des raisons de santé. En effet, de récentes études épidémiologiques ont mis en évidence l'incidence de maladies telles que la maladie coeliaque (due à l'intolérance au gluten) ou le diabète.

Plusieurs travaux ont en effet porté sur le développement de farines composites dans lesquelles une partie de la farine de blé est remplacée par d'autres sources amylacées (Balla et al., 1999)

C'est ainsi que les recherches dans notre laboratoire sur les farines composées se sont penchées sur deux tubercules : le taro et la patate douce. Les premiers travaux sur le taro ont montré qu'une substitution jusqu'à 10 % avec la farine de taro crue n'a pas d'effet significatif sur les propriétés rhéologiques de la pâte (Njintang et al., 2008). Toutefois, des essais de production de biscuits composés à ce taux de substitution a donné des biscuits irritants, liés à la présence d'oxalate de calcium dans les tubercules de taro. Dans des études subséquentes exigeant un traitement préalable des tubercules, une substitution de 15 % par la farine de taro précuite n'a pas affecté significativement les propriétés rhéologique de la pâte ; mais les biscuits à base de taro ont montré une acceptabilité meilleure comparé au biscuit à 100 % blé avec des substitution allant jusqu'à 40 % (Himeda et al., 2012).

Au regard de ce qui précède, les études de substitution de blé par d'autres farines représentent un challenge technologique majeur. En effet, le blé est la céréale qui contient le gluten (très faible dans les autres céréales) essentiel à la formation du réseau protéique contribuant à la texture spongieuse des produits pâtisseries et panifiés. La matrice de gluten absente dans les tubercules est un déterminant majeur des caractéristiques rhéologiques de la pâte comme l'élasticité, l'extensibilité, la force et l'habilité à emprisonner les gaz. Comme cette matrice est absente dans les tubercules, d'où leur faible pourcentage de substitutions. Dans la perspective d'augmenter la quantité des farines de tubercules tout en améliorant la texture des produits panifiés et pâtisseries à base de farine composée, des recherches ont été menées sur l'utilisation d'hydrocolloïdes comme agent texturant. Dans cette perspective, l'hydroxypropylmethyl-cellulose (HPMC), la méthylcellulose (MC), carboxyméthylcellulose (CMC), les gommes psyllium, haricot locust, guar et xanthane ont fait l'objet d'investigations (Lazaridou et al., 2007). Ces efforts de recherches sur l'application des hydrocolloïdes à la panification viennent justifier les exploitations locales des gommes en panification tel que la gomme *Grewia mollis*.

Au Cameroun, dans le souci d'augmenter la quantité de farine de taro lors de la substitution de la farine de blé, une variété de taro non conventionnelle communément appelée *lamba* et une gomme appelée *Grewia mollis* ont été utilisées. En effet, le taro variété *lamba* est un tubercule non conventionnel. Les populations de la région du Sud-Ouest utilisent ce tubercule pour la préparation du pain. La gomme *Grewia mollis* est une gomme produite par un arbuste largement distribué dans le Nord du Nigeria, dans d'autres pays africains, et au Cameroun. Différentes parties de cette plante sont utilisées dans des aliments et en médecine. Au Nigéria, les poudres ou mucilages obtenus de l'écorce de cet arbre sont utilisés comme agents épaississants dans des gâteaux, à base de céréales ou de farine de maïs, couramment appelés « Kosai et Punksau » en Hausa (Nigeria). Ces poudres sont mélangées avec des farines de haricots ou de maïs en vue d'améliorer la texture des beignets. Certains résultats ont montré que le mucilage obtenu de l'écorce du tronc peut servir comme liant dans une meilleure formulation de paracétamol (Nep, Conway, 2010). Des études phytochimiques sur les feuilles et l'écorce du tronc de *Grewia*



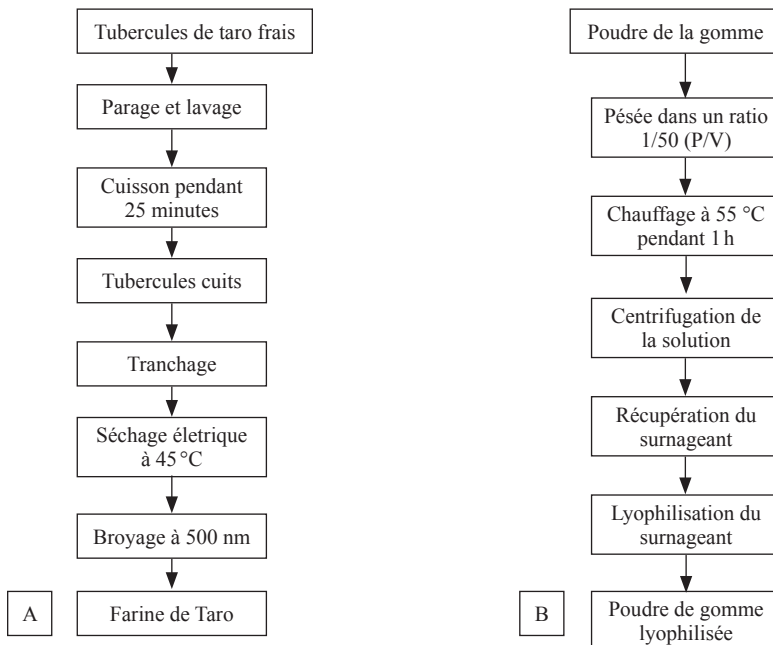
*mollis* ont indiqué la présence de tanins, de saponines, de glycosides, de flavonoïdes, de phénol et l'absence d'alcaloïdes stéroïdiens (Nep, Conway, 2011).

Malgré les nombreuses études réalisées sur les aptitudes nutritionnelles et technologiques des gommes et des tubercules, très peu d'entre elles traitent de leurs utilisations d'une façon combinée dans la panification. Une question fondamentale se pose ainsi : comment peut-on augmenter la quantité de farine de taro dans la fabrication de la pâte de pain sans modifier sa qualité nutritionnelle et technologique ? Pour répondre à cette question de recherche, ce travail s'est fixé comme objectif général d'augmenter le pourcentage de farine de taro dans la pâte au cours de la fabrication du pain. Plus spécifiquement, il s'agira de voir l'influence du mélange blé/taro/gomme sur la capacité d'absorption d'eau, la rhéologie (viscoélasticité) de la pâte, la texture et l'acceptabilité du pain.

## 2. Matériels

La farine de blé a été achetée dans un supermarché de Nancy (Lorraine, France). Les tubercules de taro ont été récoltés dans un milieu paysan du sud du Cameroun. Ils ont été acheminés au laboratoire et traités selon la figure 1A. La gomme *Grewia mollis* a été extraite à partir de poudre obtenue de l'écorce de la tige selon la figure 1B. L'ensemble des poudres obtenues a été stocké dans un réfrigérateur à 4 °C avant l'utilisation.

À partir du logiciel Minitab 15 nous avons réalisé un plan de mélange à contrainte tel qu'illustré sur le tableau 1.



**Figure 1.** Schéma de production de la farine de taro (A) et de la poudre de la gomme (B).

**Tableau 1.** Formulation des farines.

Mélanges	Blé (g)	Taro (g)	Gomme (g)
1	65	30	5
2	81,25	15	3,75
3	90	10	0
4	70	30	0
5	83,75	15	1,25
6	73,75	25	1,25
7	71,25	25	3,75
8	77,5	20	2,5
9	85	10	5
10	100	0	0

### 3. Détermination des propriétés fonctionnelles

#### 3.1. Capacité d'absorption d'eau

La capacité d'absorption d'eau (CAE) est définie comme la quantité d'eau en grammes retenue par 100 g de farine après saturation et centrifugation selon la méthode modifiée de Phillips et al. (1988).

#### 3.2. Rhéologie des pâtons

##### 3.2.1. Détermination du domaine de viscoélasticité de la pâte et analyse de la viscoélasticité de la pâte

Pour chaque échantillon de pâte nous avons déterminé le domaine linéaire de viscoélasticité de la pâte. En effet, le domaine linéaire de viscoélasticité de la pâte est la zone où la viscoélasticité ne varie pas quel que soit la contrainte imposée. C'est dans ce domaine de viscoélasticité qu'on détermine les paramètres viscoélastiques d'une pâte. Pour chaque échantillon de pâte nous avons imposé une rampe de cisaillement sur le rhéomètre Malvern variant de  $0,001 \text{ s}^{-1}$  à  $1000 \text{ s}^{-1}$ . Ensuite, c'est dans ce domaine linéaire de viscoélasticité de la pâte que nous avons déterminé pour chaque formulation les paramètres viscoélastiques ( $G'$  et  $G''$ ) de la pâte.

##### 3.2.2. Test de compression et relaxation de la pâte en fonction d'une contrainte imposée

Sur chaque formulation, nous avons imposé une pression de 50 Pa pendant une seconde, puis la pression est relâchée pendant trois secondes. Les mesures de compression et de relâchement ont été mesurées.

#### 3.3. Volume de pousse de la pâte au cours de la fermentation

Nous avons suivi la pousse de la pâte au cours de la fermentation en plaçant les pâtons dans une éprouvette. Ensuite, nous avons mis l'ensemble dans une étuve dont la température était contrôlée à  $30^\circ\text{C}$  sous une humidité relative de 0,75. Toutes les dix minutes, le volume de la pâte au sein de l'éprouvette est mesuré pendant 60 min correspondant à un volume de pâte doublé (Havet et al., 2000).

### 3.4. Essai de panification

La formulation utilisée au cours du test de panification est la suivante : 100 g de farine, 1,7 g de sel, 5 g de levure fraîche et 150 g d'eau. Après pétrissage, la pâte est mise en boule, avant d'être placée pendant 40 minutes dans une chambre de fermentation dont l'humidité et la température sont réglées respectivement à 75 % et 37°C. Les pâtons sont ensuite façonnés et moulés, puis laissés dans une étuve dont la température est de 37°C pendant 20 minutes pour que la pâte lève. La cuisson a lieu à 210°C pendant 20 minutes dans un four à plaque muni d'un système d'injection de vapeur. À la sortie du four, les pains sont démoulés, laissés 24 heures au repos et pesés.

### 3.5. Analyse du volume de pain

Une petite bassine est remplie avec des graines de colza. Les graines de colza ont la particularité d'être homogènes et remplissent tous les volumes de la bassine. À l'aide d'une éprouvette graduée, le volume de graines de colza ayant permis de remplir la bassine est mesuré. Enfin la mesure est répétée avec la bassine contenant du pain. Le volume des graines de colza est à nouveau mesuré. Pour déterminer le volume de pain, la soustraction du volume des graines de colza sans pain avec le volume des graines de colza avec le pain est réalisé.

### 3.6. Analyse sensorielle sur le pain

L'analyse sensorielle est réalisée sur un panel de 23 personnes au sein du laboratoire d'analyses sensorielles du LIBio de l'Université de Lorraine. Cinq types de formulations ont été présentés aux panelistes. Il leur était demandé d'attribuer en fonction du goût et de l'aspect du pain une note qui variait de 1 à 5 pour chaque type de pain. C'est-à-dire 1 pour « n'aime pas » et 5 « aime extrêmement ».

### 3.7. Analyse de la couleur de la mie et de la croûte de chaque pain

La couleur de la mie et de la croûte est une caractéristique essentielle de sa qualité. Les mesures de la couleur ont été effectuées en utilisant un colorimètre Datacolor International selon les coordonnées Lab.

### 3.8. Analyses statistiques

Toutes les expériences ont été effectuées en triple. L'analyse des variances des données a été faite en utilisant le logiciel statistique Statgraphics 5.0. La comparaison des moyennes des paramètres des farines a été effectuée au moyen du test de comparaison multiple de Duncan. Les courbes ont été tracées à l'aide du logiciel Sigma Plot 11.

## 4. Résultats et discussion

### 4.1. Capacité d'absorption d'eau des mélanges

Les figures 2, 3, 4 montrent respectivement les capacités d'absorption d'eau (CAE) dans les mélanges de farine de blé et la farine de taro, farine de blé et la gomme et enfin la farine de taro et la gomme. Sur la figure 2, une CAE élevée autour des teneurs en blé de 85 g et 10 g de farine de taro est observée. Cette tendance est observée pour les teneurs de 65 g de farine de blé et 30 g de farine de taro. Ce qui signifie que l'incorporation de la farine de taro entraîne l'augmentation de la capacité d'absorption d'eau. Ces résultats sont en accord avec

ceux observés par Njintang et al. (2008). Sur la figure 3, une grande CAE autour des teneurs en blé de 80 g et 4 g de farine de gomme. Cette tendance est observée pour les teneurs de 65 g de farine de blé et 5 g de gomme. Par conséquent, l'incorporation de la gomme entraîne une augmentation de la capacité d'absorption d'eau des farines composées. Sur la figure 4, une CAE élevée autour des teneurs en taro de 15 g et 4 g pour la farine de gomme. Cette tendance est observée pour les teneurs de 30 g de farine de taro et 5 g de gomme et aussi pour les teneurs de 10 g de farine de taro et 5 g de gomme. Ce qui montre que l'incorporation de la farine de taro et la gomme améliore la capacité d'absorption d'eau. On peut remarquer que les farines de blé et les farines de taro seules présentent de faibles CAE.

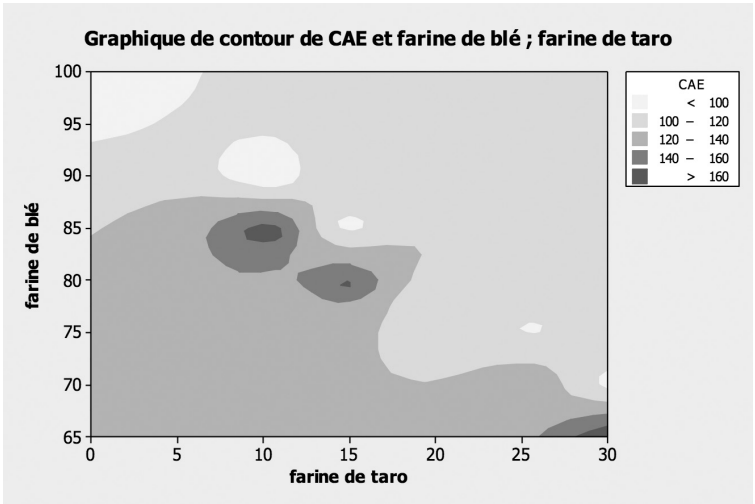


Figure 2. Capacité d'absorption d'eau de farine de blé et farine de taro.

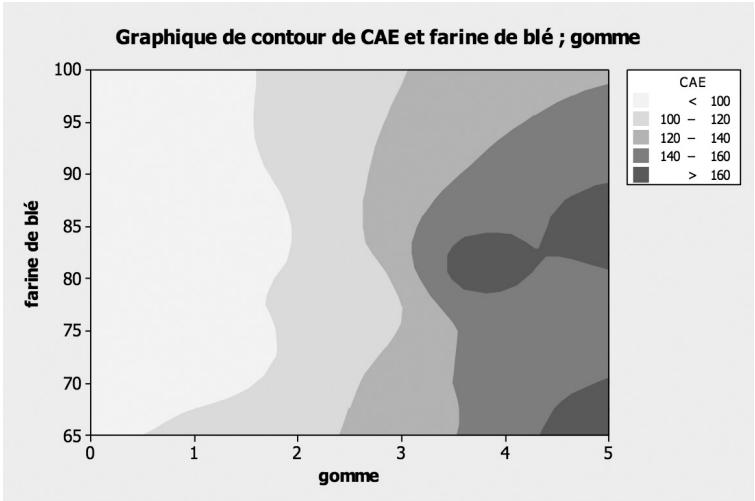


Figure 3. Capacité d'absorption d'eau de farine de blé et gomme.

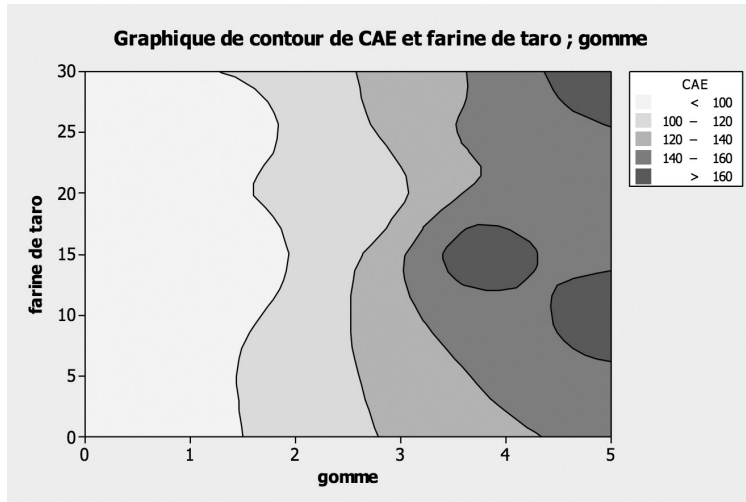


Figure 4. Capacité d'absorption d'eau de farine de taro et la gomme.

#### 4.2. Détermination du domaine linéaire de viscoélasticité de la pâte

La figure 5 présente le domaine linéaire de viscoélasticité des différentes formulations. D'une manière générale, pour toutes les formulations, le domaine linéaire de viscoélasticité se situe autour d'un taux de cisaillement de  $0,1 \text{ s}^{-1}$ . Ces résultats sont semblables à ceux observés par Lazaridou et al. (2007) et Asghar et al. (2006). En effet, le domaine linéaire de viscoélasticité représente la zone où les paramètres viscoélastiques ( $G'$  et  $G''$ ) ne varient presque pas. Donc pour déterminer ces paramètres viscoélastiques, et pour pouvoir comparer les modules élastiques et visqueux, il faudrait se situer dans la zone où le taux de cisaillement ne fait pas varier la viscoélasticité des formulations. Nous avons comparé les paramètres viscoélastiques de chaque formulation sur la figure 6.

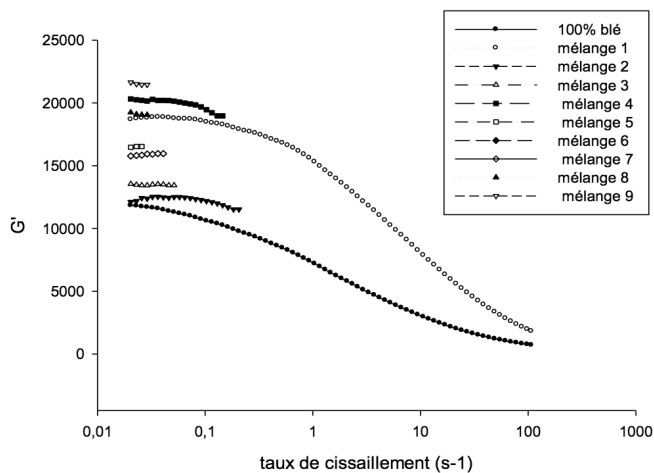


Figure 5. Domaine linéaire du module élastique ( $G'$ ) en fonction du taux de cisaillement.

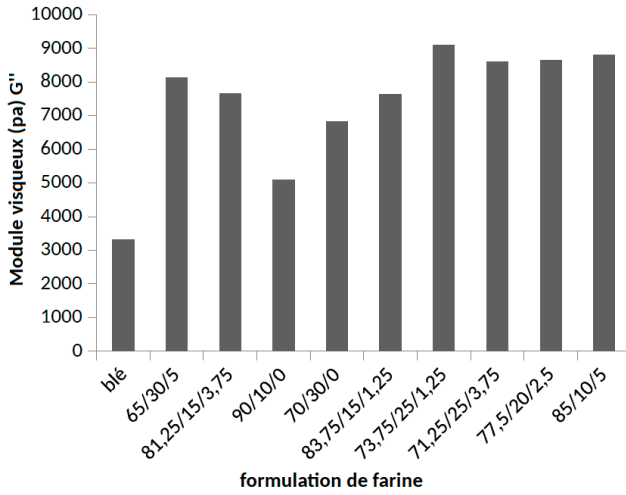


Figure 6. Comparaison des modules visqueux (G'').

La figure 6 présente les différents modules visqueux (G'') de chaque formulation. En effet une formulation est dite visqueuse, lorsque la contrainte est en phase avec la vitesse de déformation (Meziane, 2011). Les formulations blé, 90/10/0 et 70/30/0 présentent de faibles modules visqueux. La formulation 73,75/25/1,25 présente le plus haut module visqueux (9083 Pa). Ces résultats montrent que l'incorporation de la gomme entraîne l'augmentation du module visqueux. Ces résultats sont semblables à ceux observés par Bárcenas et al. (2009) qui ont montré que l'ajout de la gomme arabique et de gomme pectine entraîne une augmentation du module visqueux.

Les tests de compression et de relaxation des pâtons en fonction du temps sont représentés sur la figure 7. D'une manière générale, l'allure des courbes de tous les pâtons correspond à un comportement viscoélastique (Onyango et al., 2009). Les pâtons issus de 100% de blé ont un comportement viscoélastique plus important que les autres pâtons. Cependant, l'ajout de gomme à une formulation augmente la viscoélasticité (formulation 60/30/5) et cette

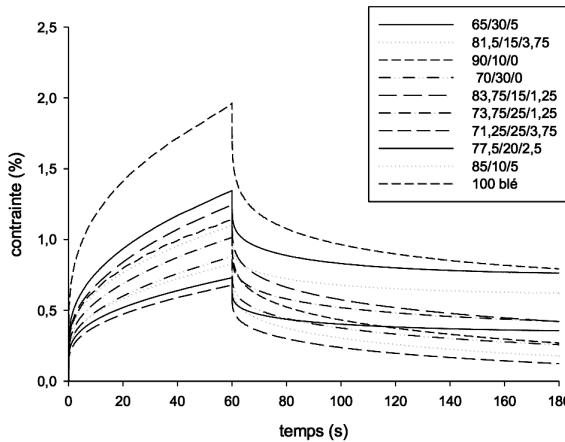


Figure 7. Compression et relaxation des pâtons en fonction du temps.

viscoélasticité diminue avec le taux d'incorporation de la gomme (formulation 90/10/0). Ces résultats sont en accord avec ceux observés par Lazaridou et al. (2007), qui ont montré que l'ajout de gomme dans la matrice sans gluten permet d'augmenter l'élasticité de la pâte ; ceci ayant pour conséquence l'augmentation du volume de pain.

Afin de connaître le taux maximum d'incorporation de la farine de taro et de la gomme *Grewia mollis* dans la farine composite, une série de tests utilisant les proportions taro/gomme/blé suivantes : 0/0/100 ; 10/0/90 ; 15/3,75/81,25 ; 30/0/70 ; 15/1,25/83,75 ; 25/1,25/73,75 ; 25/3,75/71,25 ; 20/2,5/77,5 ; 10/5/85 ; 30/5/60 a été réalisée. Les propriétés de rétention de gaz au sein des pâtes composites ont été suivies par mesure du volume des pâtes lors de la fermentation à l'aide de l'indicateur de Pousse. Les résultats obtenus montrent que les pâtes incorporant jusqu'à 25% de farine de taro et 3,75% de gomme lèvent bien lors de la fermentation et sont comparables à celles obtenues avec 10/0/90 de farine composée (Figure 8). Par contre à partir de 30% d'incorporation de la farine de taro et 0% de gomme, le volume de pousse lors de la fermentation diminue, ce qui conduit à des pains de densité élevée (i.e. présentant un volume faible). Ces derniers sont fort différents du pain de référence (100% blé) (Figure 8). Plus la capacité de rétention d'air dans la pâte est élevée, plus important est le volume du pain. La capacité de rétention du CO<sub>2</sub> est liée à la quantité d'air incorporée lors du pétrissage. En effet, c'est à partir de nuclei d'air que le CO<sub>2</sub> produit par la levure va diffuser et faire lever la pâte. Il faut aussi noter que la levure est incapable de produire de nouvelles alvéoles d'air (Baker, Mize, 1941).

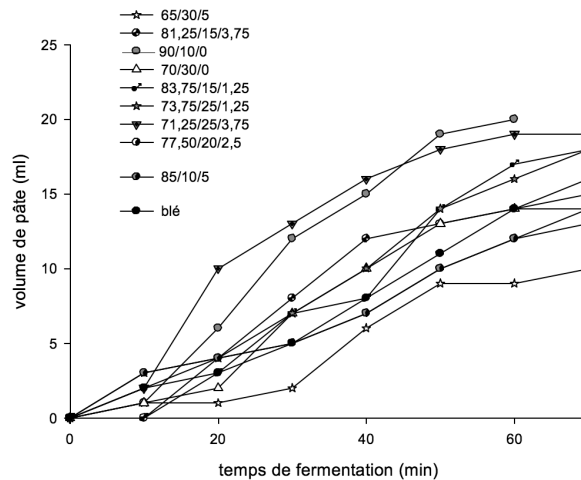


Figure 8. Volume de pousse des pâtons.

L'influence du taux d'incorporation de taro et de gomme sur le volume des pains composites est illustrée sur la figure 9. Le pain présentant le plus grand volume est celui fabriqué exclusivement à partir de blé. Le plus petit volume de pain est celui réalisé avec la farine composée (70/30/0). Ces résultats montrent que l'ajout de gomme entraîne une augmentation du volume de pain. En effet, le volume de pain est fortement influencé par la quantité de gaz retenue par la pâte. Chaque alvéole d'air est caractérisée par une taille critique au-delà de laquelle la rétention du CO<sub>2</sub> est aléatoire car le plus souvent il diffuse dans l'atmosphère (Handlemann et al., 1961 ; Delcour et al., 1991).

Les résultats du test d'appréciation de la qualité des pains composites sont présentés sur la figure 10. Les pains incorporant 10/0/90 ; 30/0/70 ; 77,5/20/2,5 ont une appréciation similaire comparée à celle du pain fait uniquement à base de blé. Tandis que le pain réalisé à base de farine composée 60/30/5 est le moins apprécié comparé au 100% blé.



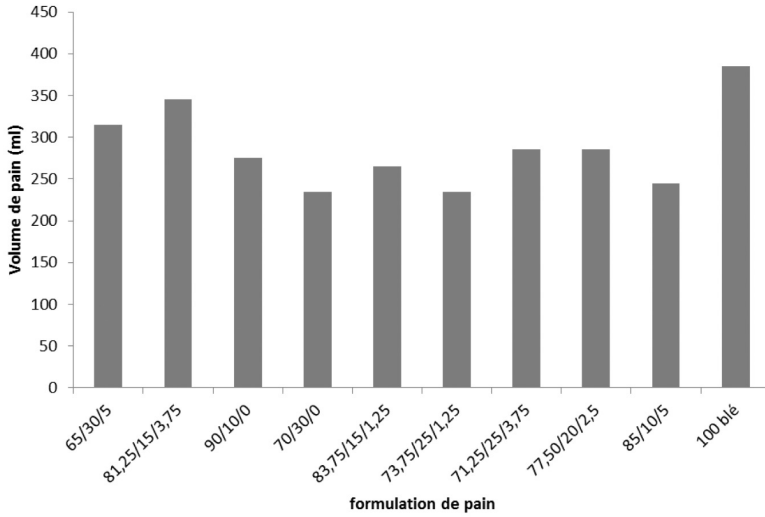


Figure 9. Volume de pain.

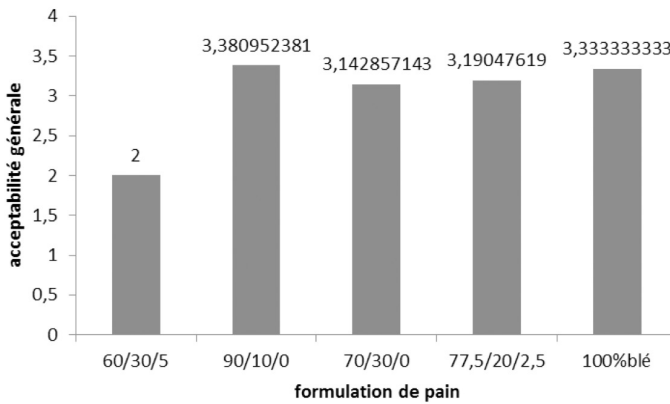


Figure 10. Analyse sensorielle des pains.

Le tableau 2 présente la couleur de la mie et de la croûte de chaque pain. Les teneurs en gomme et taro ont une influence significative ( $p < 0,05$ ) sur la couleur de la mie et de la croûte. Lorsqu'on compare la couleur de la mie et de la croûte, la mie semble être plus claire que la croûte. La couleur de la croûte serait due à la réaction de Maillard (Shittu et al., 2007). Les résultats montrent que l'augmentation de la teneur en taro entraîne une augmentation de la couleur de la croûte. Cette même tendance est observée avec l'incorporation de gommes. Les résultats sont en accord avec ceux observés par Shittu et al. (2009). En effet, ils ont montré que l'ajout de gomme xanthane entraîne une augmentation de la couleur de la croûte.

**Tableau 2.** Test sur la couleur de mie et de la croûte du pain.

Échantillons	Croûte			Mie		
	L	a	b	L	a	b
70/30/0	40,61ab	16,91d	25,41a	72,51bcd	0,84a	16,78bc
73,75/25/1,25	66,98g	8,25a	32,92bc	78,63d	1,62b	16,72bc
77,5/20/2,5	36,3a	17,87de	29,5ab	70,6abc	2,27c	17,07bc
83,75/15/1,25	55,48ef	18,27de	37,34c	72,52bcd	1,69b	15,47ab
81,25/15/3,75	51,95de	15,97cd	35,91bc	67,48ab	2,89d	17,83cd
85/10/5	61,94fg	10,95ab	33,06bc	73,28bcd	2,79d	17,44cd
90/10/0	49,23cde	12,9bc	29,09ab	76,98cd	0,85a	14a
71,25/25/3,75	43,32abc	20,68e	29,89abc	68,54ab	2,94d	18,15cd
65/30/5	45,31bcd	16,73d	30,91abc	64,72a	3,49e	19,01d
100% blé	61,52fg	12,6bc	33,36bc	70,43abc	1,14a	18,03cd

\*les chiffres précédés par une même lettre ne sont pas significativement ( $p < 0,05$ ) différents.

Le tableau 3 présente une analyse de corrélation et leurs valeurs de  $p$  entre les valeurs expérimentées sur le pain et sur la pâte. Les analyses montrent que certains paramètres sont corrélés les uns aux autres. Il existe donc une corrélation négative ( $r = -0,664$  ;  $p = 0,036$ ) entre la capacité d'absorption d'eau (CAE) et les analyses sensorielles du pain. De plus, cette CAE influence de façon négative ( $r = -0,652$  ;  $p = 0,041$ ) les paramètres de luminosité de la mie du pain. Mais, cette CAE influence de façon positive respectivement les valeurs  $a$  ( $r = 0,900$  ;  $p = 0,000$ ) et  $b$  ( $r = 0,652$  ;  $p = 0,041$ ) de la mie. Il existe une corrélation positive ( $r = 0,659$  ;  $p = 0,038$ ) entre le module élastique et la valeur  $a$  de la mie. Le volume de pousse et la valeur  $b$  de la mie présentent une corrélation négative ( $r = -0,658$  ;  $p = 0,039$ ). Il existe une corrélation négative entre le temps de la phase creep et le volume du pain ( $r = -0,799$  ;  $p = 0,006$ ).

**Tableau 3.** Matrice de corrélation (Pearson) de toutes les variables expérimentées.

Paramètre mesuré sur la pâte	Paramètre mesuré sur le pain							
	Volume de pain	Analyse sensorielle	L croûte	a croûte	b croûte	L mie	a mie	b mie
CAE	0,15(0,66)	-0,66(0,03)	-0,10(0,77)	0,427(0,21)	0,144(0,69)	-0,652(0,041)	0,900(0,000)	0,652(0,041)
Module élastique (Pa)	-0,55(0,10)	-0,56(0,08)	-0,11(0,74)	0,239(0,50)	0,021(0,95)	-0,109(0,764)	0,659(0,038)	0,305(0,391)
Volume de pousse de la pâte à 60 min	-0,20(0,57)	0,59(0,06)	0,09(0,78)	-0,284(0,42)	0,001(0,99)	0,526(0,118)	-0,477(0,164)	-0,658(0,039)
Jo	0,63(0,05)	0,49(0,14)	0,30(0,39)	-0,208(0,56)	0,279(0,43)	0,090(0,805)	-0,493(0,147)	-0,095(0,794)
Jm	0,54(0,10)	0,55(0,09)	0,26(0,45)	-0,286(0,42)	0,320(0,36)	0,162(0,655)	-0,536(0,110)	-0,205(0,569)
t (s)	-0,79(0,006)	0,15(0,66)	0,03(0,92)	-0,138(0,70)	-0,015(0,96)	0,568(0,087)	-0,337(0,340)	-0,547(0,102)
n0	-0,30(0,39)	-0,62(0,05)	-0,27(0,45)	0,292(0,41)	-0,332(0,34)	-0,361(0,306)	0,632(0,050)	0,426(0,219)
Jmax	0,59(0,07)	0,52(0,11)	0,27(0,44)	-0,257(0,47)	0,302(0,39)	0,118(0,745)	-0,508(0,134)	-0,147(0,686)

\*Les valeurs en gras sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification  $\alpha = 0,05$ .

\*Les valeurs entre parenthèses représentent les valeurs de  $p$  des coefficients de corrélations.

## 5. Conclusion

Le but de ce travail était de voir si l'ajout de gomme *Grewia mollis* avait une influence sur les propriétés fonctionnelles de la pâte composée et notamment sur le pain. Il a été démontré que

l'ajout de gomme entraîne l'augmentation de la capacité d'absorption des formulations de farine. L'ajout de gomme et de taro entraîne aussi l'augmentation du module viscoélastique des pâtons. Le volume de pousse des pâtons augmente en fonction du taux d'incorporation. Le volume de pain augmente avec l'incorporation de la gomme. L'incorporation de gomme entraîne également une augmentation de la viscoélasticité des pâtons à plus de 10% d'incorporation. L'analyse sensorielle a montré que les panélistes ont rejeté la formulation 65/30/5, mais ont accepté toutes les autres.

## Bibliographie

- Asghar A., Anjum F.M., Butt M.S., Hussain S., 2006. Shelf life and stability study of frozen dough bread by the use of different hydrophilic gums. *International Journal of Food Engineering*, **45**(3), 139-145.
- Baker J.C., Mize M.D., 1941. The origin of the gas cell in bread dough. *Cereal Chemistry*, **18**, 19-34.
- Balla A., Blecker C., Oumarou M., Paquot M., Deroanne C., 1999. Mise au point de pains composites à base de mélanges de farines sorgho-blé et analyse texturale. *Biotechnologie, Agronomie, Société, Environnement*, **3**(2), 69-77.
- Bárceñas M.E., De la O-Keller J., Rosell C.M., 2009. Influence of different hydrocolloids on major wheat dough components (gluten and starch). *Journal of Food Engineering*, **94**, 241-247.
- Delcour J.A., Defloor I., De Geest C., Schelkens M., Martens A., 1991. Emulsifiers and/or extruded starch for the production of breads from cassava. *Cereal Chemistry*, **68**, 323-327.
- Handelmann A.R., Conn J.F., Lyons J.W., 1961. Bubble mechanics in thick foams and their effects on cake quality. *Cereal Chemistry*, **38**, 294-305.
- Havet M., Mankai M., Le Bail A., 2000. Influence of the freezing condition on the baking performances of French frozen dough. *International Journal of Food Engineering*, **2**(3), 1-11.
- Himeda M. et al., 2012. Chemical composition, functional and sensory characteristics of wheat-taro composite flours and biscuits. *Journal Food Science Technology*, **51**(9), 1893-1901.
- Lazaridou A., Duta D., Papageorgiou M., Belc N., Biliaderis C.G., 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, **79**, 1033-1047.
- Meziani S., 2011. *Influence du procédé de congélation sur les levures et les propriétés technofonctionnelles des pâtes sucrées (type Kougelhopf)*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, France, 122 p.
- Nep E.I., Conway R., 2010. Characterization of grewia gum, a potential pharmaceutical excipient. *Journal of Excipients and Food Chemicals*, **1**(1), 30-40.
- Nep E.I., Conway B.R., 2011. Physicochemical characterization of grewia polysaccharide gum: Effect of drying method. *Carbohydrate Polymers*, **84**, 446-453.
- Njintang Y.N., Mbofung C.M.F., Balaam F., Kitissou P., Scher J., 2008. Effect of taro (*Colocasia esculenta*) flour addition on the functional and alveographic properties of wheat flour and dough. *Journal of Science Food Agriculture*, **88**(2), 273-279.
- Onyango C., Unbehend G., Lindhauer M.G., 2009. Effect of cellulose-derivatives and emulsifiers on creep-recovery and crumb properties of gluten-free bread prepared from sorghum and gelatinised cassava starch. *Food Research International*, **42**(8), 949-955.
- Phillips R.D., Chinnan M.S., Branch A.L., Miller J., McWatters K.H., 1988. Effects of pre-treatment on functional and nutritional properties of cowpea meal. *Journal of Food Science*, **53**, 805-809.
- Shittu T.A., Raji A.O., Sanni L.O., 2007. Bread from composite cassava-wheat flour: I. Effect of baking time and temperature on some physical properties of bread loaf. *Food Research International*, **40**(2), 280-290.
- Shittu T.A., Aminu R.A., Abulude E.O., 2009. Functional effects of xanthan gum on composite cassava-wheat dough and bread. *Food Hydrocolloids*, **23**, 2254-2260.
- Weigand C., 2011. *Wheat Import Projections Towards 2050*. U.S Wheat Associates, 14 p. Wheat%20Import%20Projections%20Towards%202050%20-%20C.%20Weigand%20Jan%202011.pdf

## Ingéniosité des organisations paysannes dans la transformation du manioc au Cameroun : cas du GIC Sécurité Alimentaire du Cameroun (SAC)

Ngouambe Nestor, Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural, Cameroun  
E-mail : ngouambe@gmail.com

### Résumé

Le manioc fait partie des racines et tubercules les plus cultivés, consommés et commercialisés au Cameroun. Sa transformation en produits dérivés (fufu, cossette, tapioca, miondo, etc.) est la forme la mieux consommée par la population. Mais le Groupe d'Initiative Commune pour la Sécurité Alimentaire du Cameroun (GIC SAC), a proposé une gamme de produits dérivés du manioc autres que ceux couramment consommés dans l'optique de contribuer à la sécurité alimentaire. Cette étude avait pour objectif d'analyser les forces et faiblesses du GIC SAC ainsi que leur contribution à la sécurité alimentaire des populations. L'étude s'est appuyée sur le concept d'innovation pour atteindre ces objectifs. Le logiciel Statistical Package for Social Sciences (SPSS) a été utilisé pour l'analyse des données de l'enquête. L'interprétation a été facilitée par l'analyse documentaire et l'analyse des fréquences. Il ressort de ces analyses que le GIC présente quatre produits innovants à savoir la pâte alimentaire « miondonini », le jus de semoule de tapioca « gari light », le kit alimentaire « gari plus », et le tapioca conditionné « gari show ». Tous ces produits ont pour matière première la farine de manioc ou le tapioca. La capacité de production est encore très faible pour satisfaire la demande de plus en plus forte des populations. Néanmoins, les enquêtés ont apprécié positivement la qualité et le prix des produits. Il faudra que la recherche, le gouvernement et les autres partenaires au développement accompagnent le groupe pour combler ses lacunes et passer à une production industrielle afin de satisfaire les besoins croissants des populations.

### Cleverness of farmer organizations in cassava conversion in Cameroon: case study of farmer food security group in Cameroon

Cassava is one of the roots and tubers highly produced, consumed and marketed in Cameroon. Its conversion into by-products like fufu, water fufu, gari, miondo etc. is the most consumed form preferred by population. However, a Common Initiative Group for Food Security in Cameroon named "GIC SAC" has proposed a new range of cassava by-products in order to contribute to food security. This study aimed to analyze the Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats (SWOT) face by GIC SAC and its contribution to food security. Data were collected using document analysis approach and semi-direct questionnaire. They were analyzed with Statistical Package for Social Sciences (SPSS) Software using frequencies and means analysis approaches. The result shown that, GIC SAC innovate with 4 by-products that are (i) "Miondonini" which is a nutritious paste made with cassava flour, (ii) "Gari light" which is a juice made with tapioca flour, (iii) "Gari plus" which is a nutritious kit made with association of tapioca, sugar, roasted groundnut/soybeans and dry fruits, and (iv) "Gari show" which is made with fine calibrated tapioca. We also observed that, production capacity of GIC SAC is still insufficient to satisfy an increasing population demand. Nevertheless, this population positively appreciates the quality and the unit price of these products. It is suggested that, research, Cameroon policy and other partner bring technical and financial support to this group to fill the gap observed and move to an industrial production in order to satisfy increasing needs of local population.

## 1. Introduction

La crise alimentaire qu'a connu bon nombre de pays africains a fondamentalement remis en cause la politique jusque là pratiquée. Depuis 2000, la plupart des pays d'Afrique

subsaharienne ont décidé de replacer l'agriculture au cœur des politiques de développement. Il s'agit de permettre au secteur agricole de couvrir les besoins alimentaires des populations. Le manioc, 5<sup>ème</sup> production alimentaire mondiale (après le maïs, le riz, le blé et la pomme de terre), joue un rôle prépondérant dans l'alimentation de 600 millions d'êtres humains dont 200 millions en Afrique. En Afrique centrale, le manioc est la première production végétale alimentaire et constitue la base de l'alimentation des populations (FIDA, 2008). Au Cameroun, à cause de l'exode rural et les besoins alimentaires résultant de la croissance démographique (environ 20 millions d'habitants), le surplus de manioc commercialisé par les ménages ruraux a augmenté de 50 % depuis 2010 pour satisfaire la demande rurale et urbaine (PNDRT, 2006b). Le même auteur souligne que la consommation du manioc frais ou transformé est estimée à 1 136 000 tonnes et représente 10% des dépenses alimentaires. Selon le FIDA (2008), l'avenir de la filière manioc au Cameroun réside dans la transformation en produits dérivés destinés à la consommation humaine et animale. Or on constate que même si la transformation du manioc est recommandée pour réduire sa teneur en glucoside cynogénique, cette activité est un maillon faible au Cameroun due à l'absence des infrastructures de transformation et de conditionnement. C'est pour cela qu'on constate que la transformation du Cameroun est encore artisanale et est l'œuvre d'environ 90% des femmes qui mettent à disposition des ménages les produits suivants : les cossettes, le fufu, le water fufu, le tapioca, et les bâtons de manioc (Miondo, Mintumba). Seulement 1/3 de la production nationale est transformée alors que les habitudes alimentaires le veulent transformer.

C'est ainsi que depuis 2002, le groupe d'Initiative commune dénommé Sécurité Alimentaire du Cameroun (GIC SAC) a voulu innover et aller au-delà des produits dérivés du manioc couramment consommés par les populations. Cette réflexion a abouti à la conclusion selon laquelle le manioc a un fort potentiel et peut être valorisé dans l'industrie agro-alimentaire et ainsi encourager une plus grande consommation des produits locaux. En 2010 et 2011, le groupe obtient les brevets d'invention de la transformation du manioc grâce à ses produits proposés : les pâtes alimentaires à base des racines et tubercules (manioc, igname, patate, plantain), les boissons non fermentées à base de manioc, des kits alimentaires à base de manioc. Cependant, cette créativité est orpheline d'assistance technique et financière pour développer l'agro-industrie au Cameroun. L'un des défis actuels est de valoriser suffisamment la production artisanale en une production semi-industrielle et/ou industrielle notamment dans la transformation des céréales, des racines et tubercules. Cette communication essaye de faire une analyse des forces et faiblesses du GIC SAC et ressortir son effet sur la sécurité alimentaire au Cameroun.

## 2. Méthodologie

### 2.1 Présentation du manioc

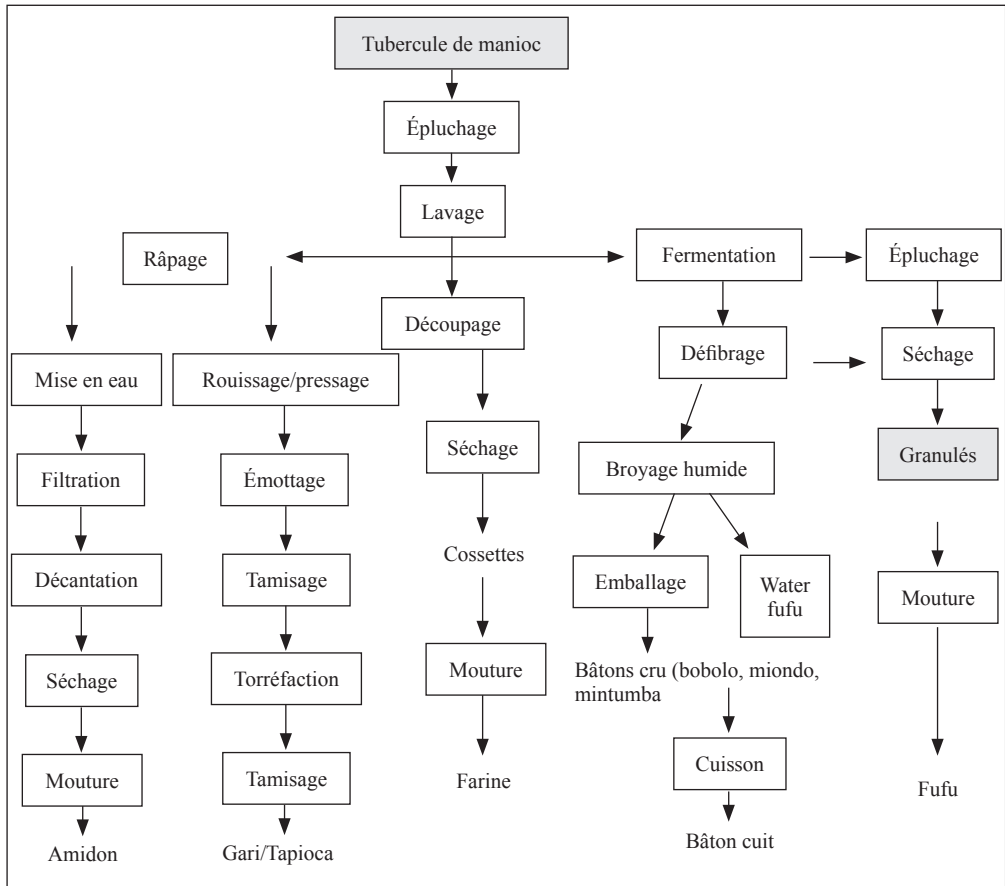
Le manioc est une Euphorbiacée cultivée dans les zones tropicales et subtropicales originaire d'Amérique du Sud et introduite en Afrique de l'Ouest et du centre vers le 15<sup>e</sup> siècle. Son nom scientifique est *Manihot* spp. On distingue deux principales variétés à savoir le manioc amer (*Manihot esculanta*) le plus cultivé, et le manioc doux (*Manihot opi*).

#### 2.1.1. Production

La production mondiale est estimée à plus de 210 millions de tonnes dont 52% fournie par l'Afrique. Le Nigéria est le premier producteur mondial avec plus de 38 millions de tonnes par an. Selon la FAO (2010), l'Afrique centrale contribue pour 14% de la production mondiale et 21% de la production africaine (environ 60 millions de tonnes). Au Cameroun, la production annuelle est estimée à 2 349 171 tonnes pour une superficie de 204 548 ha et les variétés locales (8017, 8034, 4115, 96/1414, Excel) sont les plus prisées par rapport aux variétés améliorées (Tricoche et al., 2008).

### 2.1.2. La transformation

En Afrique centrale, le manioc est plus consommé sous sa forme transformée. La transformation est encore artisanale et est l'œuvre des femmes qui fournissent plus de 90 % de la main-d'œuvre. Tout de même, on compte au Cameroun quelques unités de type semi-industriel pour la fabrication de l'amidon (UTRAM à Souza), de la farine non fermentée (groupe d'intérêt économique-GIE, FAN de NGOUMOU). On note également qu'en Afrique centrale le manioc compte environ 43 produits dérivés, mais les plus consommés et commercialisés se retrouvent à la figure 1.



**Figure 1.** Processus de transformation du manioc au Cameroun et dans d'autres pays de la CEMAC (adapté de Ngue, Mbairanodji, 2012).

### 2.1.3. La valeur nutritive du manioc

Le tableau ci après présente la valeur nutritionnelle du manioc épluché.

**Tableau 1.** Valeur nutritive du manioc.

Composants	Tubercules épluchés (%)	Matière sèche (%)
Eau	66,2	--
Amidon	27,5	81,5
Sucrose	1,0	3,0
Glucose	0,4	1,1
Fructose	0,3	0,8
Matières grasses	0,2	0,6
Protéines	0,4	1,3
Eléments minéraux	0,8	2,5
Fibres diététiques	1,5	4,3
Résidus	1,7	4,9
Cyanide (HCM) (ppm)	150-300	300-900

Source : Juneval TURASTSINE. [www.africa-do-business.com](http://www.africa-do-business.com)

## 2.2 Présentation du «GIC SAC»

Créé en 2002 sous le Certificat d'inscription N° CE/GP/01/02/6468 du 12 juin 2002, le Groupe d'Initiative Commune pour la Sécurité Alimentaire du Cameroun «GIC SAC» est un groupe de jeunes Camerounais qui a pour objectif de contribuer à la sécurité alimentaire à travers la transformation des denrées locales. Le groupe compte en son sein 12 membres dont 9 femmes, gérés par deux instances à savoir l'Assemblée générale des membres et le bureau exécutif dirigé par une femme. L'âge moyen du groupe est de 34 ans et tous les membres sont impliqués dans la production et/ou la transformation du manioc.

Depuis sa création officielle, le groupe mène des recherches sur la transformation des racines et tubercules. En 2007, le groupe lance son premier produit innovant qui lui a valu un prix à la Journée de l'Excellence en Recherche Scientifique et l'Innovation du Cameroun (JERSIC). Plus tard en 2008, grâce cette innovation, le groupe obtient une attestation de conformité de la part du Ministère des Petites et Moyennes Entreprises de l'Economie Sociale et de l'Artisanat – MINPMESA (Attestation de conformité N° 032/AC/MINPMEEESA/SG/DPC du 19 septembre 2008).

Depuis 2010, il a mis au point plusieurs nouveaux produits innovants à savoir des pâtes alimentaires à base des racines et tubercules dont le manioc, un kit alimentaire à base de tapioca enrichi aux fruits. Ces innovations ont été reconnues par l'Organisation Africaine de la Propriété Intellectuelle (OAPI) comme étant une invention exclusive du GIC SAC.

## 2.3 Cadre conceptuel

La présente étude s'attarde sur le concept d'innovation afin de mettre en valeur le génie créateur des organisations paysannes dans la transformation du manioc au Cameroun.

### 2.3.1. L'innovation

On peut définir une innovation comme une nouveauté, une nouvelle façon de faire quelque chose que l'on a déjà fait. Selon Poole (2006), «l'innovation est l'application de ressources et découvertes technologiques, institutionnelles et humaines à des procédés de production débouchant sur une nouvelle pratique, de nouveaux produits et marchés, de nouvelles institutions et organisations à efficacité renforcée». Selon le même auteur, les solutions créatives apportées par



les organisations paysannes demeurent une source importante d'amélioration de la productivité agricole et la sécurité alimentaire dans bien de régions des pays en développement. Or selon Rogers (1983), d'une manière générale, l'innovation est une nouvelle invention. Allant dans le même sens, Poole (2006) précise que l'inventeur est un créateur d'idées nouvelles. C'est ainsi que le même auteur a adopté une conception étroite de l'innovation qu'il a cerné à l'esprit d'entreprise. Selon lui, l'entrepreneur est celui-là qui a la capacité de faire simplement des choses nouvelles ou de faire des choses qui ont déjà été faites d'une nouvelle façon.

## 2.4 Méthodologie de collecte des données

La collecte des données s'est faite suivant trois méthodes :

- L'analyse documentaire qui a consisté à exploiter les documents de la littérature ainsi que les registres et carnets d'exploitations du GIC. Ceci a permis de retracer l'origine du groupe, son fonctionnement et d'analyser ses performances technico-économiques.
- L'observation directe qui a consisté à apprécier ce que nous avons observé durant la collecte d'information. Cette méthode nous a permis d'apprécier la qualité des infrastructures et équipements de transformation mis en place.
- L'enquête de terrain qui est une méthode de collecte d'informations auprès d'un échantillon, lequel représente une fraction de la population étudiée (Moscovici, Buschini, 2003). Ainsi, à l'aide d'un questionnaire semi-direct, nous avons entretenu les personnes qui achetaient et/ou goûtaient les produits sur place lors des manifestations. Il s'agit de la célébration de la 32<sup>e</sup> édition de la journée mondiale de l'alimentation célébrée à Abong-Mbang (Est-Cameroun) en octobre 2012, de la grande foire organisée par la société Cameroon télécommunication (CAMTEL) en novembre 2012 à Douala et le JERSIC 2012 à Yaoundé. Il était question de savoir si ces derniers avaient une connaissance du GIC et ses produits, de la particularité de ses produits, de leur perception de qualité et du prix des produits. Ainsi à la fin de ces événements, 132 personnes ont été enquêtées.

## 2.5 Méthode d'analyse des données

L'analyse du contenu qui consiste à faire une description et une interprétation objective, systématique et quantitative du contenu manifeste des documents exploités (Grawitz, 1996), nous a permis d'interpréter les documents exploités et faire ressortir les performances du GIC.

L'analyse du discours nous a permis de faire la synthèse de nos échanges avec les responsables du groupe pour mieux ressortir les difficultés rencontrées.

Le logiciel Statistical Package for Social Sciences (SPSS) a été utilisé pour l'analyse des données des questionnaires. L'analyse des fréquences et des moyennes nous a permis de ressortir le degré de perception des enquêtés sur la qualité gustative des produits ainsi que les prix.

## 2.6 Limite de l'étude

Les perceptions de la qualité gustative ne concernent que deux produits à savoir «gari light» et «gari plus» qui ont été dégustés sur place par la majorité. Donc les avis présentés dans le texte ne représentent pas toujours l'ensemble des produits. En plus les données quantitatives de la production totale sont ceux réellement vendus et non réellement produits. Le groupe ne dispose pas des données de la production. Ces quantités pourraient varier car les produits autoconsommés par les membres et ceux perdus durant la distribution ne sont pas pris en compte.

### 3. Résultats

#### 3.1 Description des produits

##### «Miondonini»

C'est le nom commercial des pâtes alimentaires produites par le groupe. Il s'agit ici d'une composition de la farine de manioc et de niébé. Selon les responsables, un mélange de 1 000 g de farine de manioc et de 250 g de niébé donne une pâte de 750 g. Ce produit est conditionné en paquets de 250 g et 500 g.

##### «Gari plus»

C'est un kit alimentaire à base de tapioca pré-sucré enrichi aux autres produits. Il s'agit d'un sachet de 180 g qui comprend 100 g de tapioca, 9 g de sucre, 21 g de soja grillé et concassé, 20 g d'arachides grillées et 30 g de fruits séchés (banane, mangue, etc.).

##### «Gari show»

C'est un paquet de tapioca, conditionné sous une nouvelle façon. Il s'agit d'un sachet de 5 kg de tapioca qui est préalablement calibré à une maille de 1-1,5 mm. On distingue le gari show blanc sans huile et le gari show jaune avec huile.

##### «Gari light»

C'est le nom de la boisson alimentaire et énergétique à base de semoules de tapioca enrichie aux fruits, légumes, épices, etc. Il est conditionné dans des bouteilles recyclées de 33 cl dont 9 g de semoule de tapioca, et des fruits tels la mangue, le corossol, la noix de coco, la goyave, le fruit de la passion, etc.

On doit noter que, en dehors de ces quatre produits, la GIC fait aussi des bâtons de manioc dit «Bâton de manioc stérilisé» dont le délai de conservation est de 3 mois.

#### 3.2 Analyse des performances de production

Le tableau 2 présente les quantités et types de produits commercialisés en 2011 et 2012.

**Tableau 2.** Performance de production pour les années 2011 et 2012.

Type de produits	Unités de mesure	2011	2012
Gari plus	Sachet de 180 g	15 518	17 231
Gari light	Bouteille de 33 cl	18 762	11 215
Gari show	Sachet de 5 kg	331	179
Miondonini	Sachets de 500 g	3398	2319

On remarque dans ce tableau qu'en dehors de la boisson «gari light», la production des autres produits a baissé entre 2011 et 2012, ceci s'explique par le fait que la GIC n'a pas pu avoir des stands en 2012 aux grands événements contrairement à 2011 notamment l'évènement «Yaoundé en fête (YAFE)» et la grande foire PROMOTE.

On a aussi estimé les quantités totales de produits dérivés du manioc utilisés pour la production d'une unité de chaque produit. Dans le tableau 3, il est question de montrer la proportion du manioc pré-transformé utilisé pour chaque unité de produits.

Dans chaque produit commercialisé, les produits dérivés du manioc occupent une proportion minimale d'environ 28%. Ceci a permis d'évaluer la quantité totale de produits dérivés utilisés par an. Donc environ 2,287 tonnes de farine de manioc ont été utilisées entre 2011 et 2012 soit en moyenne 1,143 tonnes par an. Environ 6,094 tonnes de tapioca utilisées entre 2011 et 2012 soit 3,047 tonnes par an. Ces quantités manipulées montrent que la capacité de transformation est encore faible et ceci s'explique par le fait que tout est encore artisanal.

Le GIC SAC ne dispose pas d'équipement pour sa production.

**Tableau 3.** Proportion des produits dérivés du manioc utilisés.

Désignation	Poids total	Nature du produit dérivé incorporé	Quantité de produits dérivés incorporée (g)	%
Gari light	33 cl	Semoule de tapioca	9	27,27
Gari plus	180 g	Tapioca	100	55,55
Gari show	5 kg	Tapioca	5000	100
Miondonini	500 g	Farine de manioc	400	80

Source : Auteur.

### 3.4 Analyse des performances économiques

Dans cette section, nous avons ressorti les marges bénéficiaires par unité de produits transformés. Les coûts de production concernaient : l'acquisition de la matière première qui représente environ 60% des coûts totaux, l'amortissement des charges comme l'eau, l'électricité, la main-d'œuvre, les coûts de distribution, l'emballage, etc. Le tableau 4 présente les performances économiques du GIC SAC par unité de production.

**Tableau 4.** Estimation des marges bénéficiaires des produits.

Désignation	Coût unitaire de production (FCFA)	Prix unitaire de vente (FCFA)	Bénéfice unitaire (FCFA)
Miondonini	396	500	104
Gari plus	92	100	08
Gari light	215	250	35
Gari show	2010	2500	400

Les coûts de production sont encore élevés et le groupe ne tient pas compte des charges d'amortissement du site actuel de production, ainsi que l'amortissement des petits équipements utilisés.

### 3.5 Analyse des perceptions des enquêtés

Les résultats de l'analyse montrent que seulement 34,5% des personnes enquêtées avaient déjà entendu parler du GIC SAC avant l'enquête soit dans les médias ou lors des rencontres similaires antérieures et 48% découvraient le GIC durant les manifestations auxquelles elles participaient. Environ 36% avaient déjà une connaissance des produits du GIC notamment «miondonini», «gari light» et «gari plus». 81,4% déclarent ne pas connaître la particularité des produits et 18% environ pensent que ce sont les produits à base des racines et tubercules. Cette dernière catégorie est constituée pour la plupart (78%) par les habitants de la ville de Yaoundé. On note également que ceux qui ont une idée de la particularité de produits du GIC SAC ont suivi des émissions radios et télévisées où le PNDRT présentait ses activités et notamment ses actions sur la transformation du manioc au Cameroun.

Au total, 84,4% des personnes ont déclaré avoir déjà consommé «gari light» et 9% «miondonini». On doit remarquer que ces 84% incluent ceux qui ont consommé sur place pendant les enquêtes. Ceux ayant déjà consommé «miondonini» sont tous les habitants de la ville de Yaoundé. Que ce soit ceux ayant déjà consommé antérieurement les produits ou ceux ayant dégusté sur place, la majorité des enquêtés ont apprécié la qualité gustative des produits et dont «gari light» était le plus apprécié (79,8%). On note que les appréciations allaient d'Excellent (33,3%), Très bon (22,2%) et Bon (16,7%). Pour ce qui est du rapport qualité/

prix, 36,1 % ont jugé que «gari plus» et «gari light» sont les plus accessibles à leur bourse. Il faut remarquer que, 24 % estiment que le prix de «miondonini» devrait être plus bas que celui des autres pâtes alimentaires à base de blé fortement consommées au Cameroun. Selon eux, «c'est un produit local et de ce fait doit être relativement moins cher que ceux importés pour s'implanter sur le territoire».

Enfin 91,7 % ont déclaré que le produit n'est pas encore disponible sur le marché et de ce fait difficile à consommer en permanence bien que le besoin soit exprimé.

## 4. Discussion

Cette section consiste à faire une analyse des forces, faiblesses, opportunités et contraintes des activités du GIC SAC. En effet, selon Djamen et al. (2010), les forces et les faiblesses sont des facteurs inhérents d'une activité et susceptibles de contribuer ou d'entraver la réalisation des objectifs tandis que les opportunités et les contraintes sont les facteurs favorables ou défavorables de l'activité.

### 4.1. Forces

Le groupe a un fort esprit de créativité et un dévouement pour la transformation des denrées locales. Ce potentiel mérite d'être capitalisé par la recherche pour qu'il soit transformé en action concrète au vu de la forte démographie actuelle. D'ailleurs le PNDRT souligne que le potentiel de transformation de manioc au Cameroun est très élevé mais est encore peu exploré et la demande croît d'année en année au rythme de la croissance urbaine. Le FIDA soutient ceci en précisant que le Cameroun est un pays structurellement à fort potentiel d'autosuffisance des produits dérivés du manioc destinés à la consommation humaine.

L'obtention du brevet d'invention des produits à base de manioc est un facteur favorable pour se positionner comme leader dans le secteur de la transformation semi-industrielle ou industrielle du manioc pour le bien-être de la population.

### 4.2. Faiblesses

Le groupe a une faible capacité de production qui ne peut actuellement satisfaire la demande. Ceci s'explique par l'utilisation du matériel encore rudimentaire et est un frein au développement de son potentiel et à la sécurité alimentaire des populations vulnérables. Nous avons noté plus haut qu'environ 91 % de la population précise que le produit n'est pas disponible sur les marchés et ceci réduit considérablement leur satisfaction car elle consomme ces produits par occasion lors des foires. Cependant le responsable du GIC SAC soutient qu'actuellement, la production se fait uniquement sur commande ou pour exposition lors des événements auxquels il participe. Ceci par crainte de lancer les produits sur les marchés et ne pas pouvoir satisfaire la demande à cause de leur faible capacité de production. Or comme l'a souligné la FAO (2011), la sécurité alimentaire prend en compte la dimension de la disponibilité du produit. Donc pour que le GIC SAC atteigne son objectif de sécurité alimentaire, il faudra relever le défi d'accroissement de sa capacité de production.

On note aussi une mauvaise organisation et planification des activités au sein du groupe. Actuellement, la chaîne de production interne n'est pas organisée ; on ne sait vraiment pas qui fait quoi. C'est ce qui explique l'absence des données de production relevée.

### 4.3. Opportunités

La population importante de la sous-région CEMAC est fortement consommatrice des produits dérivés du manioc. D'ailleurs, au Cameroun le FIDA (2009) a estimé une consommation moyenne des produits dérivés du manioc à 98 kg/habitant/an. On note également, comme le précise le PNDRT (2006a), les opportunités de marchés dans la zone de la Communauté Économique pour le Développement des États d'Afrique de l'Ouest (CEDEAO). D'ailleurs, pour le FIDA le volume d'exportation des produits dérivés du manioc destinés à la consommation alimentaire est bien plus significatif au Cameroun.

La relance de la stratégie nationale de développement des racines et tubercules ainsi que la vision du gouvernement pour une transformation des produits locaux dont le manioc et le cacao qui sont les produits prioritaires sont une opportunité pour se rapprocher de ses responsables et solliciter des financements pour l'industrialisation de leur production. Ces opportunités à saisir permettront ainsi au GIC de valoriser ses connaissances, connaissances que la recherche doit capitaliser. C'est pour cela que Duindam, Hauser (2008), estiment que les approches participatives de la recherche agronomique fondées sur les savoirs au niveau local peuvent encourager le développement des capacités d'innovation chez les agriculteurs.

### 4.4. Contraintes

L'accès au financement est une contrainte majeure à l'essor de ses activités. Cette contrainte explique le manque d'infrastructure et d'équipement observé. En effet, le lieu de production n'est pas vraiment adéquat pour l'activité de transformation. Le PNDRT avait déjà mentionné ces mêmes contraintes en 2006 (PNDRT, 2006a). Lorsqu'il précisait que les difficultés liées à la transformation du manioc au Cameroun sont : l'insuffisance des matières premières, l'insalubrité des structures de transformation, l'absence de la structuration de la filière justifiant une faible compétitivité des produits dérivés. Toutes ces contraintes limitent les quantités et qualités de produits mis sur le marché et augmentent la vulnérabilité des populations à l'insécurité alimentaire. Il est aussi important que les recherches s'orientent sur la sécurité sanitaire des produits proposés par le GIC SAC en relation avec le lieu de production actuel.

La péremption rapide des produits est aussi une contrainte observée. En effet, selon les consommateurs, la boisson «gari light» proposée se conserve au plus pendant 7 jours à une température ambiante et au maximum 15 jours au frais. Par là on constate qu'il se pose un problème de stabilisant pour assurer la conservation du produit. En ce qui concerne la pâte alimentaire «miondonini», elle est plus fragile que les pâtes à base de blé, remarque un enquêté. C'est dire que ce génie créateur du GIC est déjà une avancée vers l'industrie de transformation agro-alimentaire mais beaucoup reste à faire pour produire selon les normes notamment en ce qui concerne, la qualité, la conservation, et même l'emballage des produits (nous avons signalé que des jus sont conditionnés dans les bouteilles issues de la récupération).

Fort de tout ceci, le FIDA (2009) pense que «pour améliorer le fonctionnement de la filière des produits dérivés du manioc au Cameroun, et en Afrique centrale, il faut que les gouvernements, les bailleurs et les projets de développement de la filière manioc adoptent une démarche cohérente et concertée qui repose sur : (i) le renforcement de l'accès des transformateurs aux marchés (...) et l'organisation de la filière, (ii) améliorer les performances, l'efficacité et l'accessibilité des équipements de transformation (...) (iii) améliorer la diffusion et valorisation des savoirs».

## 5. Conclusion et perspective

Le génie créateur du GIC SAC peut significativement contribuer à la sécurité alimentaire au Cameroun. Cependant, les contraintes et les faiblesses relevées (inorganisation du GIC, manque de financement, etc.) entravent l'atteinte de cet objectif. Les populations ont apporté une appréciation positive sur les produits mais décrivent l'indisponibilité de ceux-ci sur les marchés augmentant ainsi leur vulnérabilité à l'insécurité alimentaire. Il serait important que, dans la vision du passage vers une agriculture de seconde génération au Cameroun, le gouvernement, la recherche avec le soutien des partenaires au développement, canalisent cette créativité au profit du développement de l'agro-industrie basé sur la transformation du manioc. Ceci pour le bien-être de toute la population fortement consommatrice du manioc et ses dérivés.

## Bibliographie

- Djamen N.P., Havard M., Wey J., Lefèvre D., Djomo S., 2010. Le conseil agricole, une démarche porteuse à l'épreuve des réalités : premières leçons d'une expérience de changement d'échelle au Nord Cameroun. In : Coudel E., Devautour H., Soulard C. (eds). *ISDA 2010 – Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food*, 28 juin au 1 juillet. Montpellier, France. [CD Rom].
- Duindam J., Hauser S., 2008. Improving smallholder cassava using new varieties and best agronomic practices on ultisols in southern Cameroon. In: *Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development, Tropentag, October 7-8, 2008, Hohenheim*. IITA, Cameroon.
- FAO, 2010. *Faostat 2010*. FAO, Rome.
- FAO, 2011. *State of Food and Agriculture. Women in agriculture: closing the gender gap for development*. FAO, Rome.
- FIDA, 2009. *Étude sur les potentialités de commercialisation des produits dérivés du manioc sur les marchés CEMAC*. FIDA, Yaoundé. [http://www.fidafrique.net/IMG/pdf/Etud\\_CEMAC\\_01.pdf](http://www.fidafrique.net/IMG/pdf/Etud_CEMAC_01.pdf)
- Grawitz M., 1996. *Méthodes des sciences sociales*. Dalloz, Paris, 920 p.
- Moscovici S., Buschini F., 2003. *Les méthodes des sciences humaines*. PUF, Paris, 472 p.
- Ngue Bissa T., Mbairanodji A., 2012. *Guide Technique de production et de transformation du manioc (Manihot esculenta)*. PNDRT, MINADER, Yaoundé.
- Ngue Bissa T., 2006. *Atelier sur les initiatives régionales pour la transformation et la commercialisation du manioc, Accra, Ghana, 20-22 Mars*.
- Poole N., 2006. *L'innovation, enjeux, contraintes et opportunités pour les ruraux pauvres*. FIDA, Rome. <http://www.ifad.org/events/gc/29/panel/f/poole.pdf>
- PNDRT, 2006a. *Diagnostic sommaire de la filière racines et tubercules au Cameroun*. Rapport Général mai 2006, FIDA, MINADER, Yaoundé.
- PNDRT, 2006b. *Étude sur l'observatoire des racines et tubercules*. Rapport de première phase, MINADER, Yaoundé, 143 p. <http://www.fidafrique.net/IMG/pdf/EtudeObservatoireRacinetubercule1.pdf>
- Rogers E.M., 1983. *Diffusion of innovation theory*. Free Press, New York, 453 p.
- Tricoche B., David-Benz H., Song J.E., 2008. *L'organisation de la filière manioc au Cameroun : des mode de coordination pour régir les incertitudes des marchés*. Atelier REPARAC, Yaoundé.

## Couplage de technologies membranaires pour la production d'extraits stables de bissap (*Hibiscus sabdariffa* L., Malvaceae)

Adje Anoh Félix, Niamke Bobélé Florence, Adima Amissa Augustin, Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, E-mail : felix\_adje@yahoo.fr  
Lozano Yves François, CIRAD, Montpellier, France  
Biego Godi Henri, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan, Abidjan, Côte d'Ivoire

### Résumé

Des nectars d'*Hibiscus sabdariffa* L. (bissap) sont fabriqués par infusion ou décoction des calices de cette plante dans l'eau. Le développement d'un procédé d'éco-extraction, incluant des technologies couplées (MicroFiltration Tangentielle : MFT et Osmose Inverse : OI) a permis de fabriquer à l'échelle pilote des extraits concentrés d'une plus grande sûreté (qualité et hygiène).

L'objet de ce travail était d'évaluer la stabilité de ces extraits concentrés. Des membranes industrielles en céramique pour la MFT et en polymère organique pour l'OI, ont été utilisées respectivement pour la clarification et la concentration des extraits polyphénoliques. Les calices séchés ont été extraits dans de grands volumes d'eau (50-250 l) suivant un ratio optimisé  $R = 1/100$  ( $R = \text{masse du végétal en kg/volume d'eau en l}$ ). Le macérât (0,3-0,4°Brix) préfiltré à l'aide de tissu en nylon, est d'abord clarifié par MFT avec une membrane industrielle multicanales (P19-60, 0,2  $\mu\text{m}$  de diamètre de pore,  $S = 0,304 \text{ m}^2$  surface filtrante), puis concentré par OI avec une membrane industrielle (SW-30, 0,1 nm de diamètre de pore,  $S = 2 \text{ m}^2$ ). Les concentrés finaux titrent à 10-20°Brix avec des taux moyens de matières sèches de l'ordre de 16%. Ces concentrés exposés en atmosphère ambiante dans un conditionnement limitant la pénétration des rayons solaires, restent stables et bactériologiquement sains pendant au moins 8 mois (durée de l'expérience) comparativement aux extraits préparés de façon traditionnelle qui présentent une charge microbienne importante (GAM, levures, moisissures) limitant par conséquent leur stabilité.

### Membrane technologies coupling for stable bissap (*Hibiscus sabdariffa* L., Malvaceae) extracts production

The calyx of *Hibiscus sabdariffa* were used to prepare at home level a famous beverage commonly called *bissap* in the west part of Africa. Traditionally, this bright red extracts were prepared by infusion or decoction. A pilot plant process, Coupled Membrane Separation Technology (CMST), including Cross Flow Microfiltration (CFM) and Reverse Osmosis (RO), was used to scale up clarification and concentration of the polyphenolic compounds extracted from this part of the plant in cold conditions. This process allowed getting safety and bioactive final concentrated products. Although this kind of process leads to more stability of such beverages, no paper has been reported on their shelf-life.

The aim of this work was to evaluate the stability of the final concentrated product, obtained from CMST. For this purpose, a multi-step process with large volumes of water (50-250 l) was used. Based on an optimized ratio 1/100 (w/v), dried calyx were soaked in water media, to allow soluble biomolecules to diffuse. The crude extracts obtained (0.3-0.4°Brix) were filtered through a nylon cloth before submitted to CFM membrane (P19-60-Membralox, 0.2  $\mu\text{m}$  pore size,  $S = 0.304 \text{ m}^2$  filtration surface) (Pall-Exekia, Tarbes, France). The CFM extracts (0.3-0.4°Brix) were concentrated by RO (TMP = 40b,  $T = 25-30^\circ\text{C}$ , 5 batches) using a SW30 membrane (0.1 nm pore size,  $S = 2 \text{ m}^2$ ). The final concentrates have 10-20°Brix. The mean of dry matters range from 16%. The final concentrates were conserved for 8 months without any microbial load (Aerobic Mesophile Germs, yeast, moulds), compared to the traditional products.



## 1. Introduction

*Hibiscus sabdariffa* L. (*bissap*, *karkadé* ou *roselle*) est un arbuste tropical annuel ou bisannuel, herbacé, buissonnant à port de sous-abrisseau, pouvant atteindre de 1 à 5 mètres selon les variétés et le mode de culture. Il serait originaire d'Amérique centrale et serait ensuite introduit dans diverses régions tropicales notamment, en Inde, aux Antilles et en Afrique. Mais c'est vraisemblablement en Afrique occidentale qu'on retrouve la plus grande diversité de plantes d'*Hibiscus* spontanées et subspontanées (Bricage, 1980). Les calices rouges sont riches en acides organiques et en anthocyanes, composés conférant aux extraits aqueux des activités antioxydantes et des fonctionnalités colorantes (Pi-Jen et al., 2002) qui sont utilisées dans la confection de produits de santé pour l'alimentaire, pour la médecine et la cosmétique (Mourtzinou et al., 2008; Cissé et al., 2009). Les extraits aqueux d'*Hibiscus* renferment 2 anthocyanes majeures : la delphinidine sambubioside et la cyanidine sambubioside. Ils contiennent aussi d'autres polyphénols présentant des caractéristiques antioxydantes.

Cependant, la pasteurisation nécessitée par la présence d'une charge microbienne généralement élevée dans les calices séchés et d'autres contaminants de diverses origines : sable, terre, etc., dégradent notablement la plupart de ces molécules reconnues pour leur thermosensibilité. Ces extraits sont traditionnellement obtenus en Afrique par infusion des calices séchés. Un ajout de sirop de sucre à cet extrait et une pasteurisation sont nécessaires pour fabriquer localement en petites quantités (5-20 l) une boisson correspondant au goût africain, généralement revendue dans de brefs délais par les fabricants dans de petites échoppes ou sur les marchés locaux.

Le procédé artisanal habituellement mis en œuvre n'est pas optimal tant du point de vue de la préservation des qualités des extraits que de leur conservation. Ce procédé inclut obligatoirement une opération de chauffage, altérant sans nul doute la qualité de l'extrait qui est généralement trouble et dont la conservation en température ambiante n'excède pas une semaine. Le recours à des équipements frigorifiques est alors nécessaire alors qu'il est onéreux et peu accessible à un grand nombre. Une alternative de conservation moins onéreuse, exploitable en milieu villageois serait judicieuse. En d'autres termes, comment obtenir des extraits stables conservés de façon durable sans recours à un dispositif frigorifique? C'est une question qui lance un défi technologique.

Les éléments pour relever le défi mentionné existent. Le procédé d'extraction-concentration – basé sur des principes physiques de séparation des solutés extraits de la matrice végétale, inclut des Techniques Séparatives Membranaires (TSM) par couplage de deux unités pilotes de microfiltration (MFT) et d'osmose inverse (OI) équipés de membranes industrielles – a été au cœur d'une application innovante pour la valorisation de plantes peu utilisées de la biodiversité tropicale. Cette application permet de fabriquer des extraits concentrés (10-20°Brix), avec une charge bactérienne réduite voire inexistante, permettant en conséquence d'envisager leur consommation et leur conservation longue durée, avec une capacité de production bien supérieure aux techniques artisanales actuelles (Chemat, 2011). Les travaux de Cissé (Cissé et al., 2011) ont en effet révélé que la microfiltration élimine les bactéries et que ces extraits clarifiés (MFT) restent stables dans un délai de 3 mois. Il est permis de penser que cette stabilité peut être renforcée par le couplage de la concentration par Osmose Inverse au procédé de microfiltration. Mais cela n'a pas été vérifié à notre connaissance.

La présente étude vise à combler la lacune identifiée en vue de mettre sur le marché des extraits concentrés d'actifs hydrosolubles de *bissap* avec plus de sûreté en termes de qualité et d'hygiène.

## 2. Matériel et Méthodes

### 2.1. Matériel biologique

Les calices d'*Hibiscus sabdariffa* L. (variété Vimto) ont été récoltés dans la période de décembre 2008 à mars 2009, dans le village d'Houphouët-Djekro à Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). Les calices frais sont collectés sur site, pré-séchés à l'ombre à température ambiante, puis rapidement acheminés au laboratoire de Chimie de l'eau et des Substances naturelles (INP-HB). Ils y subissent un tri pour l'élimination des débris et pédoncules floraux. Les échantillons sont ensuite séchés pendant 48 h à l'étuve (40 °C). Le matériel végétal sec a été conditionné sous vide dans des sacs en plastique puis acheminé au CIRAD (Montpellier/France) où il a été conservé à 4 °C en chambre froide, jusqu'à son utilisation au pilote de séparation membranaire ou au laboratoire pour la préparation du nectar<sup>1</sup>. Ainsi, trois co-produits (extraits brut (PFT), clarifié (MFT), concentré (OI)) issus du procédé de séparation membranaire sont échantillonnés pour les analyses, contre un seul issu du procédé traditionnel de préparation mis en œuvre au laboratoire (ETL).

### 2.2. Préparation du nectar de bissap

Deux voies de préparation sont exploitées : la voie traditionnelle dite à chaud et la voie dite à froid.

#### 2.2.1. Méthode à chaud (traditionnelle)

Dans le procédé traditionnel (Figure 1), les calices séchés de bissap sont mis à tremper dans de l'eau bouillante. Ce procédé a été mené dans les conditions suivantes : ratio 1/100<sup>2</sup> (masse de calices non broyés en kg/volume d'eau en l) pendant 3 h (temps optimal d'extraction). L'extract rouge obtenu est filtré à l'aide d'un tissu en nylon ( $\sigma = 25 \mu\text{m}$ ), conditionné de façon aseptisée dans des bouteilles préservant du rayonnement lumineux, puis placées en atmosphère ambiante, à 4 °C et à 20 °C en présence de lumière (bouteille claire).



Figure 1. Procédé traditionnel de fabrication de nectar de bissap.

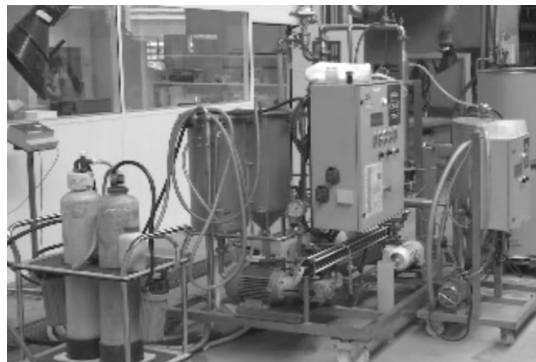
#### 2.2.2. Méthode à froid

Le procédé mis en œuvre dans cette partie est un procédé tri-étapes intégrant les Techniques Séparatives Membranaires (TSM) (TIA, Bollène, France) : 1. Macération, 2. Microfiltration Tangentielle, 3. Osmose Inverse (Adjé, 2009). Le procédé couplé de séparation membranaire

<sup>1</sup> sans sucre ajouté.

<sup>2</sup> ratio obtenu d'après les essais préalables d'optimisation à l'échelle laboratoire.

est assemblé sur un même skid comprenant une unité de microfiltration tangentielle (MFT) et une unité d'osmose inverse (OI) (Figure 2). L'ensemble est placé dans une halle propre et désinfectée ; le sol de l'aire occupée par l'unité, le circuit de production, les récipients utilisés sont convenablement désinfectés avant toute manipulation selon les procédures du laboratoire.



**Figure 2.** Échelle pilote de Technologie Membranaire.

### Étape 1 : Macération

Les extraits aqueux de bissap sont obtenus par macération des calices secs non broyés (2,5 kg) pendant 18 h à température ambiante (20 °C) dans 250 litres d'eau.

### Étape 2 : Clarification par MicroFiltration Tangentielle (MFT)

Avant et après chaque essai de microfiltration, les circuits de l'installation pilote et sa membrane sont lavés suivant un protocole appliqué au niveau industriel. Le lavage séquentiel est : **1.** lavage avec 20 l de lessive de soude 10 g/l à 70 °C, pendant 45 min à  $\Delta P = 0,4$  bar ; **2.** refroidissement, vidange et rinçage à l'eau microfiltrée jusqu'à pH neutre ; **3.** lavage à l'acide nitrique 5 g/l, sans chauffage, pendant 15 min, à  $\Delta P = 0,6$  bar ; **4.** vidange et rinçage à l'eau jusqu'à pH neutre et sans percolation de l'eau à travers la membrane ; **5.** vidange du pilote et remplissage avec de l'eau déionisée ou microfiltrée ; **6.** mise en route de la microfiltration en circuit fermé (filtrat redirigé vers l'alimentation) à  $\Delta P = 0,4$  bar et à  $T = 20$  °C. Le flux de perméat est mesuré. Le nettoyage est estimé correct quand la perméabilité s'établit entre 1 000 et 1 500 l/h.m<sup>2</sup>.b. Le conditionnement du pilote de MFT pour des arrêts inférieurs à 24 h, est réalisé avec de l'eau javellisée à 100 ppm de chlore libre. L'unité est laissée pleine d'eau conditionnée sous javel. Avant tout essai de clarification, un prélèvement d'eau de conditionnement est analysé pour vérifier la qualité de la désinfection du circuit du module sollicité.

Le macérât obtenu est préalablement filtré à l'aide d'un tissu en nylon ( $\sigma = 25$  µm) avant d'être soumis à une clarification via un module de microfiltration tangentielle (TIA, Bollène, France) équipé d'une membrane industrielle (Membralox, Pall-Exekia, Tarbes, France) en céramique multicanaux P19-60, profilée hexagonal de 19 canaux (60 mm de diamètre × 80 cm long) (Surface filtrante  $S = 0,304$  m<sup>2</sup>). La taille des pores de 0,2 µm permet d'éliminer la charge bactérienne apportée éventuellement par le matériel végétal, l'eau et le récipient, sans dégrader les anthocyanes et autres composés actifs originels. Les débits  $J_{MFT}$  de microfiltration sont mesurés au cours de l'essai par pesées continues du filtrat récupéré pour l'étape de concentration. La cinétique de variation de ce débit est donc visualisable sur un graphe  $J = f(t)$  qui est une courbe décroissante en début de cinétique avec atteinte rapide d'un plateau horizontal indiquant une stabilisation du débit de filtrat pendant l'opération de clarification. L'extrait est donc clarifié contre une pression transmembranaire (PTM) de 0,6 bar, pendant 7,8 h à flux stabilisé autour de 100 l/h.m<sup>2</sup> à 20 °C. Le facteur de réduction volumique est de l'ordre de 22.

### Étape 3 : Concentration par Osmose Inverse (OI)

L'osmose inverse (OI) permet la concentration à froid du microfiltrat de MFT par élimination de l'eau au travers d'une membrane industrielle polymère composite spirale, de type SW 30-2540 (Filmtec), de surface filtrante 2 m<sup>2</sup> et de diamètre de pore 0,1 nm. Le pilote d'OI (TIA, Bollène, France) est équipé également d'un échangeur de température et d'un thermomètre placés sur le circuit de la boucle de filtration permettant de maintenir constante la température du produit en cours d'essai (25-30 °C).

Avant et après chaque opération, l'unité est lavée en séquence comme suit : **1.** rinçage complet à l'eau ; **2.** lavage basique (eau + lessive de soude jusqu'à pH = 10) à 25-30 °C, osmose inverse en fonctionnement 20 min sous  $\Delta P = 10$  bar ; **3.** rinçage complet avec de l'eau déionisée jusqu'à pH neutre ; **4.** lavage acide (eau + acide nitrique jusqu'à pH = 3) à 25-30 °C, osmose inverse en fonctionnement 20 min sous  $\Delta P = 10$  bar ; **5.** rinçage complet avec de l'eau déionisée jusqu'à pH neutre. Pour un arrêt prolongé (> 1 semaine), le pilote est conditionné avec une solution de métabisulfite de Na (1-2,5 g/l). Le pilote est mis en fonctionnement 10 min à une  $\Delta P = 10$  bar. La sortie du perméat est aussi maintenue immergée dans la même solution de métabisulfite de Na. Le démarrage des essais est conditionné par l'innocuité de ce module d'osmose inverse.

Au cours de la concentration, la pression transmembranaire est généralement imposée à 40 bar. Le volume nominal d'alimentation de l'unité de MFT est de 50 l. Les débits J d'OI sont mesurés au cours de l'essai par pesées continues du filtrat obtenu (eau pure recyclable). La cinétique de variation de ce débit est donc visualisable sur un graphe  $J = f(t)$  qui est une courbe décroissante en début de cinétique avec atteinte rapide d'un plateau horizontal indiquant une stabilisation du débit de filtrat pendant l'OI à 20 l/h.m<sup>2</sup> (Figure 3). L'opération de concentration par perméation de l'eau dure 5,2 h environ. Le volume total de perméat d'OI sert à calculer le facteur de réduction volumique à tout instant t ( $FRV_t$ ) de l'extrait microfiltré en cours de concentration, selon la formule :

$$FRV_t = \frac{V_i}{V_c} = \frac{V_i}{(V_i - V_w)} \quad (1)$$

avec  $V_i$  = volume initial de perméat de MFT utilisé  
 $V_w$  = volume de perméat d'OI au temps t  
 $V_c = V_i - V_w$  = volume calculé d'extrait concentré au temps t.

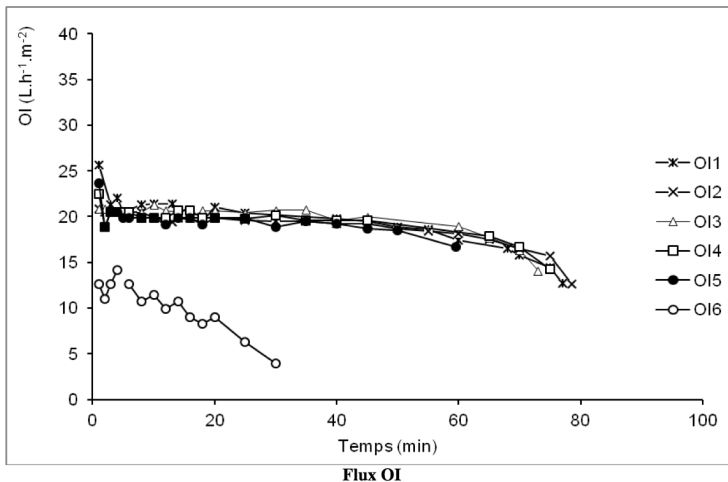


Figure 3. Flux OI des fabrications de concentrés de bissap.

Le co-produit concentré rouge foncé de bissap (obtenu d'une réduction de volume d'environ 60) est conditionné soit dans des bouteilles vertes teintées, soit dans des bouteilles claires (sans teinte) de 30 cl puis désaéré. Au cours de cette opération de désaération, l'oxygène inclus dans les bouteilles, est éliminé par injection d'azote (5 g par bouteille, sous pression de 7,5 mbar) via un fritté stérile plongé jusqu'au fond de la bouteille. Cette opération précède la fermeture hermétique des bouteilles qui subissent des tests d'étanchéité avant d'être disposées en conditions ambiantes. Les tests d'étanchéité sont effectués en plaçant les bouteilles fermées pendant 3 min dans un bain bouillant, ensuite en les noyant dans une bassine d'eau à température ambiante, puis en recouvrant de mousse savonneuse le couvercle des bouteilles pour vérifier la présence de bulles. La production de bulles indique la présence d'une fuite.

## 2.3. Caractéristiques physico-chimiques des co-produits

Les extraits de bissap sont caractérisés par leur couleur rouge foncée. Le pH, le taux de matières sèches sont les paramètres qui ont été déterminés sur les différents échantillons.

### 2.3.1. pH

Un pH-mètre Testo 230 type 4 (Testo, France) est utilisé pour les mesures de pH.

### 2.3.2. Taux de matières sèches

Le taux de matières sèches (% MS) est déterminé en triple suivant la norme AFNOR NF V18-109 version 71/47. On pèse avec précision ( $m_0$ ) 2 ml d'extrait que l'on met à sécher à l'étuve à 105 °C pendant 24 h jusqu'à poids constant ( $m_1$ ). Le % MS est donné par la formule :

$$\% \text{ MS} = \frac{100 (m_0 - m_1)}{m_0} \quad (2)$$

### 2.3.3. Polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux est déterminée selon la méthode de Folin-Ciocalteu, décrite par Singleton (Singleton, Rossi, 1965) et modifiée par Jacqueline (Wood et al., 2002). 2,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu dilué (1/10) sont ajoutés à 30 µl d'extrait. Le mélange est maintenu pendant 2 minutes à l'obscurité à température ambiante puis 2 ml de solution de carbonate de sodium (75 g/l) y sont ajoutés. Le mélange est placé dans un bain-marie maintenu à 50 °C pendant 15 minutes, puis refroidi rapidement. L'absorbance est mesurée à 760 nm, avec comme solution à blanc, l'eau. Trois déterminations sont effectuées par analyses. La teneur en polyphénols totaux est exprimée en micromoles équivalent acide gallique par gramme de poids sec (µmol/g GAE).

## 2.4. Étude de la stabilité au cours de la conservation

La stabilité des extraits de bissap a été évaluée en deux temps pendant 1 mois puis 8 mois et a porté sur les critères physico-chimiques et microbiologiques.

### 2.4.1. Stabilité physico-chimique

Des aliquotes des co-produits préparés sont d'abord conservées pendant 28 jours à la lumière générée par une lampe UV-visible (MAZDA, 400 W E8, germination phylotron) dans un germoir thermostatée (Nüve – Growth chamber GC 400, Turquie) allumée 7 h/jour, à l'obscurité à 20 °C et au réfrigérateur (Electrolux, France) à 4 °C. L'évolution de l'indice de dégradation a été suivie sur cette durée (Figure 4) pour évaluer l'impact des différents procédés sur la stabilité de la couleur des produits obtenus. L'expérience a été conduite pendant plusieurs mois sur les extraits les plus stables. L'indice de dégradation de la couleur a été suivi.

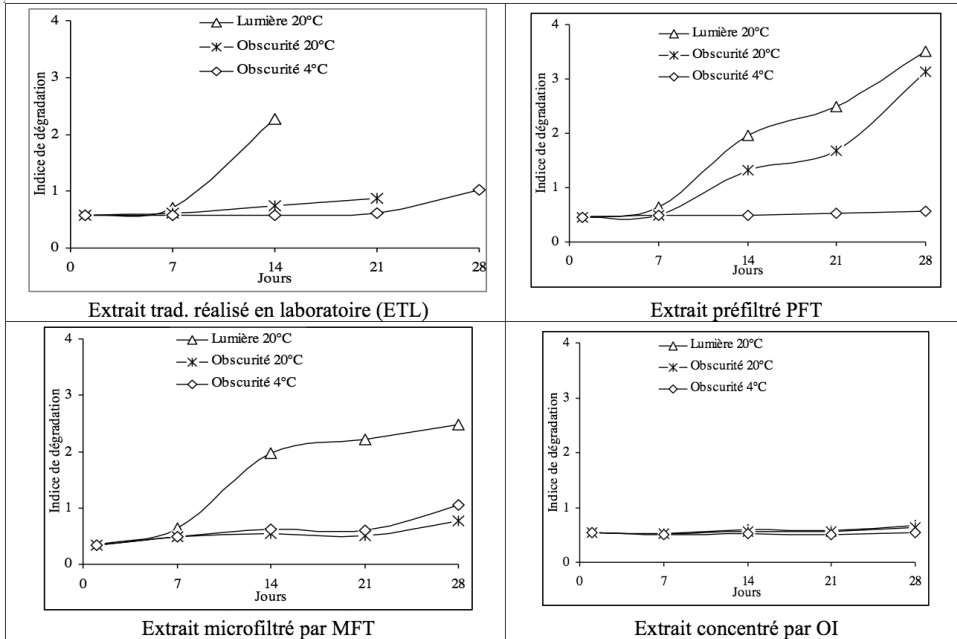


Figure 4. Stabilité de la couleur (IDC).

### Indice de dégradation de la couleur

L'indice de dégradation de la couleur se détermine par le rapport des absorbances à 420 nm et à  $\lambda_{\max} = 520$  nm (Wrolstad, 1976 ; Cevallos-Casals, Cisneros-Zevallos, 2004). C'est un indicateur de la stabilité de l'extrait pendant sa conservation dans des conditions déterminées. La DO des échantillons, préalablement filtrés à 0,45  $\mu\text{m}$ , est mesurée respectivement à 420 nm et à 520 nm. L'indice de dégradation de la couleur (IDC) est calculé comme suit :

$$\text{IDC} = \frac{A_{420 \text{ nm}}}{A_{520 \text{ nm}}} \quad (3)$$

On note :  $A_{420 \text{ nm}}$  = absorbance à 420 nm ;  $A_{520 \text{ nm}}$  = absorbance à 520 nm

#### 2.4.2. Stabilité microbiologique

L'étude de la stabilité des extraits vis-à-vis des développements microbiens a été conduite sur des échantillons des différents co-produits préparés (ETL, PFT, MFT, OI) prélevés de façon aseptique (NF V 08-408, AFNOR 1997) et analysés sous hotte à flux laminaire. Les germes recherchés étaient les Germes Aérobie Mésophile (GAM), et les levures-moisissures. Les analyses microbiologiques ont été réalisées à intervalles de temps variables à raison d'un prélèvement hebdomadaire au cours du premier mois puis à partir du deuxième mois et ce jusqu'au huitième mois, un prélèvement mensuel. Les géloses PCA et Sabouraud au Chloramphénicol ont été utilisées respectivement pour le dénombrement des GAM et des levures et moisissures totales. Ensuite, 0,1 ml de chaque solution mère et de ces dilutions ont été ensemencés en surface sur chaque milieu préalablement coulés en boîte de Petri. Ces boîtes sont ensuite incubées à 37°C pendant 24 h pour les GAM et à 25°C pendant 72 h pour les levures et moisissures totales. L'estimation de la population (N) est calculée selon la norme ISO (NF ISO 7218/A1) (AFNOR, 2013).

$$\text{Avec } N = \Sigma C / [V \times (n_1 + 0,1n_2) \times d]$$

$\Sigma C$  est somme des colonies comptées sur les boîtes à la dilution retenue pour le comptage ;

$n_1$  = nombre de boîtes retenues dans la première dilution ;

$n_2$  = nombre de boîtes retenues dans la deuxième ;

$V$  = volume de l'inoculum dans chaque boîte ;

$d$  = facteur de dilution correspondant à la première dilution retenue.

### 3. Résultats et Discussion

#### 3.1. Caractéristiques physico-chimiques des extraits

Le tableau 1 montre que les extraits de bissap sont acides ( $\text{pH} \approx 2,7$ ) et naturellement rouges colorés. De tels extraits renferment en moyenne 16-23 % de composés polyphénoliques à fonctionnalité colorante constitués par les anthocyanes (Francis, 1989 ; Ali et al., 2005 ; Castañeda-Ovando et al., 2009). Leur stabilité est un déterminant de la qualité des préparations du bissap : une telle relation oriente le choix d'évaluer la stabilité de l'extrait à partir de la couleur. L'application des Techniques Séparatives Membranaires (TSM) induit une augmentation notable de 36 fois le taux de matières sèches dans le co-produit final (concentré) par rapport à la préparation traditionnelle (15,8 contre 0,35 %).

**Tableau 1.** Caractéristiques physico-chimiques des extraits de bissap.

Méthode de préparation	Extraits	pH	T(°C)	Couleur	MS (%)
Traditionnelle	ETLdécoction	2,69	47	rouge	0,47
	ETLinfusion	2,68	27	rouge	0,42
TSM	PFT	2,66	24	rouge	0,38
	MFT	2,76	26	rouge clair	0,35
	OI	2,58	27	rouge très foncé	15,8

#### 3.2. Stabilité des préparations

Des extraits obtenus suivant les deux voies de préparation ont été soumis dans un premier temps à diverses conditions de conservation : lumière, atmosphère ambiante (obscurité) et à 4°C. L'indice de dégradation a été mesuré sur 28 jours.

##### 3.2.1. Extraits brut (PFT) et traditionnel (ETL)

Il a été observé visuellement que tous les extraits bruts exposés à la lumière se dégradent (Tableau 2). Cette dégradation est perceptible à partir de 7 jours de conservation. Ces extraits perdent totalement leur couleur rouge initiale après 14 jours, l'indice de dégradation est alors supérieur ou égal à 2 (Figure 4) ; il se forme alors des moisissures et des précipités.

**Tableau 2.** Taux de dégradation des polyphénols d'extraits traditionnels de bissap (ETL).

Temps d'exposition (j)	Dégradation (%)		
	4°C	20°C - Obscurité	20°C - Lumière
1	0	0	0
7	0	9	23
14	2	30	298
21	7	53	-
28	79	-	-

(-) détérioration complète.



Les extraits conservés à l'obscurité en atmosphère ambiante (20 °C) ne subissent pas de modification notable, la dégradation de la couleur rouge n'est observée qu'après 14 jours pour le PFT et 21 jours pour l'extrait traditionnel de laboratoire (ETL). Cette dégradation relativement rapide du PFT par rapport à l'ETL pourrait être expliquée essentiellement par l'activité des enzymes et/ou des micro-organismes encore présents dans cet extrait. Selon les travaux rapportés par Markakis (1982), les enzymes de dégradation des anthocyanes (glycosides, phénolases) pourraient être inactivées par chauffage, du fait de leur thermosensibilité. Les glycosidases des organes végétaux libèrent les anthocyanes de leurs sucres et l'aglycone ainsi formée se déstabilise et se dégrade en un produit décoloré. Quant aux phénolases (phénoloxydases, polyphénoloxydases), elles favorisent la production de *o*-benzoquinones, capables d'oxyder puis décolorer les anthocyanes. En l'absence de traitement thermique, les micro-organismes (levures, moisissures, bactéries lactiques et acétiques) se développent en exploitant le potentiel nutritif des extraits comme substrat de croissance. Ils libèrent par conséquent dans le milieu des métabolites indésirables tels que les enzymes et les produits de scission divers (Ngom, 2001).

À l'obscurité à 4 °C, la dégradation de la couleur des extraits ETL est très faiblement perceptible sur la durée de l'étude (IDC  $\approx$  1).

### 3.2.2. Extraits fabriqués au pilote de TSM : MFT et OI

Les concentrés d'OI restent très stables, quelles que soient les conditions de conservation (IDC  $\approx$  0,6). Tous les extraits de bissap sont relativement stables pendant 7 jours, quelles que soient les conditions de conservation. L'obscurité et les basses températures permettent d'accroître la persistance de la couleur rouge initiale de l'extrait pendant plus de 15 jours. La MFT prolonge le délai de persistance de la couleur lors de la conservation des extraits à l'obscurité. Toutefois, une fois exposés à la lumière, ces extraits se dégradent. Ces résultats corroborent ceux de Kjell (Kjell, Oyvind, 2005) sur l'effet de la lumière dans le processus de dégradation des anthocyanes.

L'état de concentrés (OI) contribue à accroître la durée de stabilité de la couleur, quelles que soient les conditions d'exposition (Figure 4).

On note en définitive que les conditions de conservation influencent notablement la stabilité des extraits bruts (ETL et PFT) de bissap. Les basses températures et l'abri de la lumière sont des facteurs de stabilité des extraits ; ces résultats corroborent ceux de Tsai et Asm (1996). La dégradation dans la plupart des cas est précédée par une précipitation de composés organiques tels que les pectines, les mucilages qui en se dépolymérisant vont accroître cette altérabilité (Markakis, 1982). Le bissap renfermant environ 12% de sucres libres (Guinle, 2000), leur dégradation par les micro-organismes pourrait contribuer également à la détérioration de la qualité de cette préparation (Durhard et al., 1997). L'opération unitaire complémentaire de la clarification n'a stabilisé que la couleur des extraits placés à l'abri de la lumière sur plus de 20 jours. L'altération de la couleur après 7 jours d'exposition à la lumière pourrait être expliquée par la dégradation de l'acide ascorbique et des anthocyanes qui vont conduire à la formation de furfural responsable de la modification de la structure du cation flavylum (Ngom, 2001). La stabilité des extraits obtenus par couplage MFT/OI quelles que soient les conditions serait due à des phénomènes de complexation (Ngom, 2001) par condensation des anthocyanes avec des tanins catéchiques (obtenus après une dépolymérisation suffisante durant les 31 h (18 h + 7,8 h + 5,2 h) de processus) pour former des complexes T-A plus stables. Le procédé couplé proposé (Macération + MFT + OI) serait donc une alternative judicieuse au renforcement de la stabilité de la couleur des extraits. Une clarification préalable par microfiltration tangentielle (MFT) des extraits bruts permettrait une élimination des bactéries, des matières en suspension, des complexes polymérisés responsables de la dégradation des extraits finaux, ce qui pourrait conférer une plus-value aux extraits finaux.

### 3.3. Qualité microbiologique

La qualité microbiologique des différents extraits a été évaluée au cours des essais de conservation (1 mois et 8 mois). Les tableaux 3 et 4 présentent l'évolution du nombre de germes durant le premier mois de l'expérimentation sur les extraits bruts. Quant aux tableaux 5 et 6, ils présentent l'évolution du nombre de germes durant les 8 autres mois qu'ont duré les essais de conservation des co-produits obtenus au pilote de TSM (MFT+OI). Les germes qui ont été ciblés sont les GAM et les levures-moisissures.

**Tableau 3.** Évolution des germes dans l'extrait traditionnel ETL.

ETL	Nombre d'échantillons testés	GAM ( $\times 10^3$ UFC/ml)	Levures et Moisissures ( $\times 10^3$ UFC/ml)
1*	2	1,87	0,70
7	2	2,43	1,15
14	2	4,11	3,48
21	2	5,60	4,56
28	2	7,50	5,32

(\*) : prélèvement avant conditionnement.

**Tableau 4.** Évolution des germes dans l'extrait préfiltré PFT.

PFT	Nombre d'échantillons testés	GAM ( $\times 10^3$ UFC/ml)	Levures et Moisissures ( $\times 10^3$ UFC/ml)
1*	2	0,18	0,03
7	2	37,5	3,01
14	2	122	55
21	2	6 320	406
28	2	741 000	6 540

(\*) : prélèvement avant conditionnement.

#### 3.3.1. Extraits ETL et PFT

L'évolution du taux de germes aérobies mésophiles (GAM) dans les extraits bruts préparés suivant les recettes traditionnelles et la voie de préparation à froid a été étudiée durant 28 jours. Les tableaux 3 et 4 montrent que le nombre de germes aérobies mésophiles augmente avec le temps de conservation des co-produits (ETL, PFT). On constate que la charge microbienne (GAM) des extraits ETL et PFT est très élevée à raison de  $7,5.10^3$  UFC/ml et  $741\,000.10^3$  UFC/ml respectivement après 28 jours d'essais. Les extraits PFT présentent un développement microbien notable par rapport aux extraits ETL : GAM -  $741\,000.10^3$  contre  $7,5.10^3$  UFC/ml et Levures-moisissures -  $6\,540.10^3$  contre  $5,32.10^3$  UFC/ml respectivement. Cela pourrait s'expliquer par la nature du procédé exploité ; l'extrait PFT est obtenu au cours du procédé à froid tandis que l'ETL provient du procédé traditionnel (à chaud). Le traitement thermique appliqué contribue à réduire la charge microbienne.

#### 3.3.2. Extraits MFT et OI

La MFT et l'OI sont les deux procédés couplés lors de l'extraction à froid. Du fait de la relative stabilité des extraits MFT et OI, des essais y ont été conduits durant 8 mois. Dans chaque cas, les GAM et levures-moisissures (Tableaux 5 et 6) ont été dénombrés.

**Tableau 5.** Analyse microbiologique des extraits MFT.

MFT	Nombre d'échantillons testés	GAM (UFC/ml)	Levures et Moisissures (UFC/ml)
1*	3	< 01	< 01
2	3	< 01	< 01
3	3	< 01	< 01
4	3	< 01	< 01
5	3	< 01	< 01
6	3	< 01	< 01
7	3	< 01	< 01
8	3	< 01	< 01

< 01 : aucune colonie dénombrée – (\*) : prélèvement avant conditionnement.

**Tableau 6.** Analyse microbiologique des extraits OI.

OI	Nombre d'échantillons testés	GAM (UFC/ml)	Levures et Moisissures (UFC/ml)
1*	3	< 01	< 01
2	3	< 01	< 01
3	3	< 01	< 01
4	3	< 01	< 01
5	3	< 01	< 01
6	3	< 01	< 01
7	3	< 01	< 01
8	3	< 01	< 01

< 01 : aucune colonie dénombrée – (\*) : prélèvement avant conditionnement.

Aucun développement microbien n'a été observé, ni dans les extraits MFT comme l'ont observé Cissé et al. (2011), ni dans les extraits concentrés OI (Tableau 6). Cette observation révèle que la clarification (diamètre de pore de membrane : 0,2  $\mu\text{m}$ ) a été suffisante et efficace pour éliminer tous les micro-organismes de l'extrait brut et que les étapes ultérieures se sont déroulées dans des conditions aseptiques et qu'il n'y a eu aucune contamination ultérieure. L'extrait concentré final exposé en conditions ambiantes reste stable pendant plusieurs mois (8); et cela est confirmé après contre-analyse réalisée dans un laboratoire certifié de Côte d'Ivoire. Ces résultats intéressants laissent entrevoir de réels enjeux à l'exploitation de la technologie membranaire pour l'extraction dans l'eau de nombreux substrats locaux fortement périssables.

### 3.4. Des résultats à l'origine d'une appropriation effective

L'intérêt suscité par les productions réalisées lors des travaux de 2009 a été à l'origine d'un partenariat avec des opérateurs économiques ayant permis de vérifier la faisabilité de l'appropriation de l'avancée technologique en milieu réel. Un tel partenariat a bénéficié du financement de l'ambassade de France en Côte d'Ivoire pour le transfert de cette technologie (unité pilote semi-industrielle) sur site à l'INP-HB de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire), dans le cadre d'un projet FSD (Fonds Social et de Développement). Le partenariat a associé les coopératives des femmes de Tenikro (Commune de Yamoussoukro), l'ONG OVDL, la confédération des tradipraticiens de la région du Centre, certaines PME du pays telles que BIO-GARDEN Abidjan et l'unité de laboratoire de Chimie de l'Eau et des Substances Naturelles (UCESNA/LAPISEN).

Le partenariat s'est manifesté dans la conduite de formations de groupes de femmes, de tradipraticiens à la fabrication sur le pilote à membranes d'extraits concentrés de végétaux

notamment le bissap, à la conservation et au dosage des préparations. Grâce à l'effort de diffusion de l'ONG OVDL, les coopératives des femmes ont acheté ou produit ces trois dernières années, des concentrés de bissap pour le marché local, tandis que les tradipraticiens ont été assistés dans la production de concentrés de plantes médicinales (*Carapa procera*, *Cola nitida*, *Moringa oleifera*, *Justicia secunda*, etc.).

Le partenariat commercial avec l'entreprise BIO-GARDEN a permis de mettre sur le marché de nouvelles boissons fabriquées à base d'ingrédients de bissap et d'autres substrats concentrés. Les ventes de bissap réalisées par la plate-forme depuis 2010, indiquant une nette croissance d'une année à l'autre (Figure 6) témoignent de la réalité d'une demande locale et de la compétitivité des produits finaux proposés.

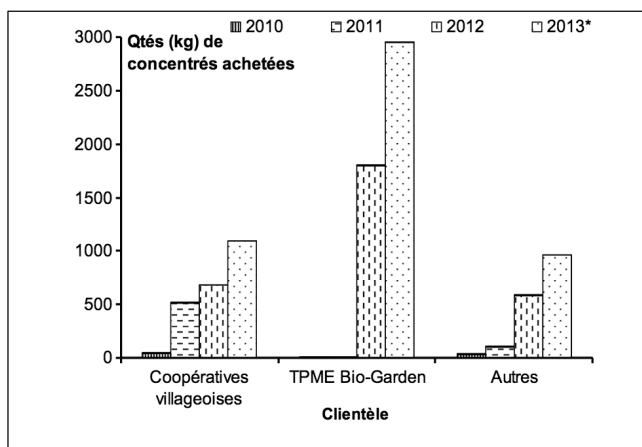


Figure 6. Flux de concentrés et clientèle. \* : cumul sur les 4 premiers mois de l'année 2013.

## 4. Conclusion

Les techniques séparatives membranaires ont permis de fabriquer, à l'échelle (semi-) industrielle, des concentrés de bissap de qualité. La nature de concentré induit une réduction des volumes de matière première et d'extraits, avec une incidence favorable sur le coût de transport.

La fabrication de ces concentrés préparés à froid confère une plus-value à la plante d'*Hibiscus sabdariffa* et aux extraits obtenus. L'usage d'un tel procédé permet non seulement de faciliter les préparations de boissons en termes de rapidité et de dosage, mais aussi de disposer en toute saison d'un extrait stable d'*Hibiscus*. Après 8 mois de conservation en atmosphère ambiante à l'abri du soleil, le concentré final conserve ses qualités originelles (microbiologique et chimique) et peut être utilisé comme base/ingrédient pour la fabrication de produits de santé divers (boissons, colorant naturel, ingrédient actif antioxydant).

Le procédé mis au point n'est pas pénalisé par un coût plus élevé de production que le procédé traditionnel car il ne nécessite pas une opération de pasteurisation de grands volumes d'extrait dilué. Au gain énergétique découlant de l'affranchissement d'une phase de pasteurisation, vient s'ajouter le gain de qualité sensoriel du produit final pour accroître l'attractivité du procédé mis au point.

L'application industrielle du procédé mis au point, par simple changement d'échelle, a été vérifiée dans le cadre d'un partenariat avec des opérateurs économiques locaux. Ce partenariat a montré que les technologies séparatives membranaires sont transférables dans un

environnement de faible technicité, pour développer les activités des acteurs déjà impliqués dans la valorisation des extraits végétaux, avec création d'emplois en zone rurale.

## Bibliographie

- Adjé A.F., 2009. *Production par procédés membranaires couplés d'extraits polyphénoliques de Carapa procera, Delonix regia et Hibiscus sabdariffa - Détermination des structures moléculaires et des activités antioxydantes*. Doctorat d'Université : Université Paul Cézanne Aix-Marseille III, Faculté des Sciences et Techniques. Marseille, France. 211 p.
- AFNOR, 1997. *NF V 08-408 (octobre 1997) Microbiologie des aliments – Contrôle de la stabilité des produits appertisés et assimilés – Méthode de routine (Indice de classement : V08-408)*.
- AFNOR, 2013. *NF EN ISO 7218/A1 (octobre 2013) Microbiologie des aliments – Exigences générales et recommandations – Amendement 1 (Indice de classement : V08-002/A1)*.
- Ali B.H., Al Wabel N., Blunden G., 2005. Phytochemical, pharmacological and toxicological aspects of *Hibiscus sabdariffa* L.: A review. *Phytotherapy Research*, **19**(5), 369-375.
- Bricage P., 1980. Étude des phénotypes pigmentaires du Bissap, *Hibiscus sabdariffa* L., Malvacées. I Biométrie de la productivité. *Bulletin I.F.A.N.*, **42**(4), 679-701.
- Castañeda-Ovando A., Pacheco-Hernández M., Pérez-Hernández M.E., Rodríguez A.J., Galán-Vidal C.A., 2009. Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, **113**, 859-871.
- Cevallos-Casals A., Cisneros-Zevallos L., 2004. Stability of anthocyanin-based aqueous extracts of Andean purple corn and red-fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants. *Food Chemistry*, **86**(1), 69-77.
- Chemat F., 2011. *Eco-extraction du végétal : Procédés innovants et solvants alternatifs*. Dunod, Paris, 322 p.
- Cissé M. et al., 2009. Le bissap (*Hibiscus sabdariffa* L.) : composition et principales utilisations. *Fruits*, **64**(3), 179-193.
- Cissé M., Vaillant F., Soro D., Reynes M., Dornier M., 2011. Crossflow microfiltration for the cold stabilization of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Journal of Food Engineering*, **106**(1), 20-27.
- Durhard V., Garnier C., Megard D., 1997. Comparison of the stability of selected anthocyanin colorants in drink model systems. *Agro Food Industry Hi Tech*, **8**, 28-34.
- Francis F.J., 1989. Food colorants: Anthocyanins. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **28**(4), 273-314.
- Guinle F., 2000. *Applications des méthodes séparatives membranaires pour la stabilisation du concentré de Bissap* (*Hibiscus sabdariffa*). Rapport de stage, CIRAD.
- Kjell T., Oyvind M.A., 2005. Colour stability of anthocyanins in aqueous solutions at various pH values. *Food Chemistry*, **89**(3), 427-440.
- Markakis P., 1982. Stability of anthocyanins in foods. In: Markakis P. (ed.). *Anthocyanins As Food Colors*. Academic Press, New York, 163-180.
- Mourtzinis I. et al., 2008. Thermal stability of anthocyanin extract of *Hibiscus sabdariffa* L. in the presence of beta-cyclodextrin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **56**(21), 10303-10310.
- Ngom P.M., 2001. *Essai de stabilisation de la couleur rouge de la boisson de bissap* (*Hibiscus sabdariffa* L.). Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle. Université Cheick Anta Diop, Dakar, 110 p.
- Pi-Jen T., McIntosh J., Pearce P., Camden B., Jordan B.R., 2002. Antocyanin and antioxidant capacity in Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Food Research International*, **35**(4), 351-356.
- Singleton V. L., Rossi A.J., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, **16**(3), 144-158.
- Tsaï P.R., Asm O.A., 1996. Thermodegradation mechanism of anthocyanin in roselle. In: *IFT Annual Meeting Book of Abstracts*. Institute of food technologists, USA, p. 92.

- Wood J.E., Senthilmohan S.T., Peskin A.V., 2002. Antioxidant activity of procyanin - containing plant extracts at different pHs. *Food Chemistry*, **77**(2), 155-161.
- Wrolstad R.E., 1976. Color and pigment analyses in fruit products. *Oregon Agricultural Experiment Station Bulletin*, **624**, 1-17.

## Application des technologies membranaires à l'extraction des polyphénols des rhizomes de gingembre (*Zingiber officinale* Roscoe – Zingiberaceae)

Ayamae Oulaï Casimir, Adje Anoh Félix, Niamke Bobélé Florence, N'Da Kessé Philippe, Tano Augustin, Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire,  
E-mail : felix\_adje@yahoo.fr  
Adima Amissa Augustin, Université Nangui Abrogoua d'Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire

### Résumé

Le gingembre (*Zingiber officinale* R.) est une plante pérenne des régions tropicales dont les rhizomes sont utilisés à l'état frais comme épice pour l'arôme et la saveur piquante ou comme base d'une boisson rafraîchissante localement appelée « Gnamankoudji ». Outre les actifs naturels d'intérêt qu'ils renferment, il a été rapporté par la littérature que leur amidon est très indigeste. L'objectif de ce travail est de produire des extraits bioactifs de gingembre par procédés séparatifs membranaires couplés (Microfiltration Tangentielle/Osmose Inverse).

Un couplage de procédés séparatifs membranaires (MicroFiltration Tangentielle/Osmose Inverse) a été appliqué, et a conduit à l'élaboration d'ingrédients d'intérêt capables d'intégrer de nouvelles formulations industrielles et/ou alimentaires. Il a été possible de séparer aisément par microfiltration tangentielle (MFT) l'amidon natif du gingembre des autres substances actives hydrosolubles puis de les concentrer à froid grâce à une opération d'osmose inverse (OI). Pour ce faire, 2 kg de rhizomes ont été directement broyés après lavage puis mis à tremper dans 100 litres d'eau ; l'extrait brut préfiltré a été ensuite clarifié puis concentré plus de 50 fois (Facteur de réduction volumique : FRV = 53, Facteur de concentration : FC = 30). Il faudrait 1,25 h pour obtenir les deux co-produits finaux : l'amidon et les actifs concentrés. Le profil chromatographique (HPLC) de l'extrait concentré (pH = 6,2 ± 0,7) de saveur très piquante a révélé la présence de trois pics de composés polyphénoliques supposés être le 6-shoagol, le 6-gingerol et le 8-gingerol, en tenant compte des données de la littérature.

### Application of membrane technologies for polyphenols of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe - Zingiberaceae) rhizomes extraction

Ginger (*Zingiber officinale* R.) is a perennial tropical plant grown for its rhizomes. These rhizomes are used in the fresh state as spice for their flavour and their prickly savour or as bases of a soft beverage commonly called « Gnamankoudji ». In addition to the active bioproducts they contain, it has been reported that ginger starch is very indigestible. The aim of this work was to separate both these matters and to produce concentrated active bioproducts as culinary ingredients through a scaling-up process (industrial). A coupled membrane technologies (Cross Flow Microfiltration/Reverse Osmosis) using industrial membranes, was applied for active ingredients. With this kind of process, it has been possible to clarify and concentrate more than 50 times (volume Reduction Factor VRF = 53, Concentration Factor FC = 30) the intrinsic compounds for 1,25 h. The final co-products were Starch and RO, respectively obtained from this eco-friendly process : Clarified extracts (CFM) and Reverse Osmosis (RO).

Physicochemical analyses were carried out on each sample, and allowed us to confirm the separation of native starch and polyphenols from crude extracts.

The HPLC profile of RO extracts (pH = 6,2 ± 0,7) showed the presence of three compounds suggested to be 6-shoagol, 6-gingerol and 8-gingerol.



# 1. Introduction

Le gingembre, *Zingiber officinale* Roscoe, est une plante pérenne des régions tropicales appartenant à la famille des Zingiberaceae. Il est cultivé pour ses rhizomes qui constituent une matière première de base pour la préparation d'une boisson rafraîchissante locale (gnamankoudji) et d'une épice très prisée dans le monde pour son caractère aromatique (Ratnambal et al., 1997 ; Borget, 1991 ; Chen et al., 1986).

L'analyse de la composition des extraits aqueux de rhizomes révèle la présence de micronutriments essentiels au bon fonctionnement de l'organisme notamment : le calcium, le magnésium, le fer, le sélénium, et certaines vitamines (A, C, B, acide folique) et fibres alimentaires (Pradeep et al., 1993). Une consommation régulière et en quantité suffisante contribue dans une certaine mesure à la couverture des besoins de l'organisme en minéraux et vitamines (Abdelmajid, 2010). Il a été également rapporté la présence de polyphénols dans ces extraits. Ces polyphénols sont avec l'oléorésine et l'huile essentielle les fractions à la base de la saveur piquante particulière de ces extraits. Ils présentent de nombreuses propriétés pharmacologiques notamment dans le traitement des affections circulatoires et respiratoires. Des effets contre l'agrégat plaquettaire et la régulation de la vasodilatation ont été également démontrés. Plusieurs auteurs ont attribué ces bioactivités à des fractions contenant majoritairement des molécules telles que le 6-shoagol, le 6-gingérol et le 8-gingérol (Jolad et al., 2004) ou le 10-gingérol en lieu et place du 8-gingérol. D'après Ghasemzadeh et al. (2010), le taux de polyphénols est fortement corrélé à l'activité antioxydante. D'un point de vue technologique, des essais de stabilisation moléculaire par encapsulation de fractions d'huiles essentielles et d'oléorésine ont été réalisés (N'gassoum et al., 2010). Et jusque-là, les huiles essentielles et l'oléorésine sont les seules formes finales d'utilisation du gingembre dans les pays importateurs.

Les préparations locales de gingembre généralement consommées, renferment à la fois les composés actifs et l'amidon (40-60 %). Ce qui leur confère généralement une couleur ocre, un arôme et une saveur piquante. L'amidon de ces rhizomes a été caractérisé par les travaux d'Amani et al. (2004) qui ont révélé leur indigestibilité. Ce qui pose du coup la problématique de la forme sous laquelle ces préparations sont ingérées et/ou intégrées aux recettes culinaires. L'enjeu de ce travail serait donc de parvenir à une parfaite élimination de cette matière indigeste sans en altérer la qualité originelle (micronutriments, macronutriments, polyphénols, etc.).

De nouvelles issues de valorisation seraient judicieuses dans nos pays et dans de nombreux pays asiatiques où l'art culinaire intègre des ingrédients à base de cette plante. La préparation d'ingrédients à base de concentrés d'extraits aqueux pourrait par conséquent être envisagée avec des procédés propres tels que les Techniques Séparatives Membranaires (TSM) pour répondre à une contrainte de développement durable. Des applications sont déjà mises en œuvre au sein du laboratoire et ont porté sur diverses spéculations végétales telles que *Delonix regia*, *Hibiscus sabdariffa*, *Anacardium occidentale*, *Carapa procera*, etc.

Ce travail va consister à éliminer l'amidon natif pour la production de concentrés d'actifs polyphénoliques de rhizomes de *Z. officinale* à partir d'un couplage de technologies innovantes (MFT/OI).

## 2. Matériel et Méthodes

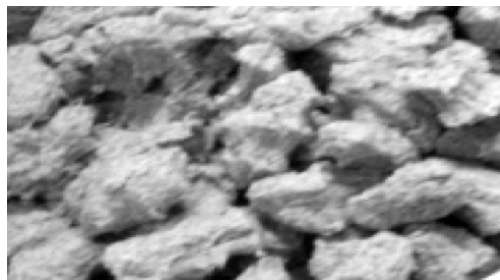
### 2.1. Matériel biologique et préparation des extraits

Les rhizomes frais de gingembre (*Z. officinale*) (Figure 1) ont été collectés sur le marché de Yamoussoukro dans la période d'avril à juin 2012. Des lots de 2 kg de rhizomes ont été constitués, soigneusement lavés puis broyés (Figure 2) avant d'être mis à tremper dans 100 l

d'eau de ville. Le mélange après avoir été légèrement agité est laissé macérer pendant 2 h en conditions ambiantes ( $30 \pm 2^\circ\text{C}$ ). L'extrait brut obtenu est préfiltré successivement à l'aide d'un tamis fin ( $\varnothing = 1\text{ mm}$ ) puis d'un tissu en nylon de plus faible porosité ( $\varnothing = 25\text{ }\mu\text{m}$ ). On obtient un produit brut trouble (PFT) qui sera introduit dans le module de microfiltration tangentielle, pour une clarification. Sous une pression transmembranaire de 1,2 bar, l'extrait est clarifié par le biais d'une membrane céramique multicanale P19-40 ( $\varnothing = 0,2\text{ }\mu\text{m}$ ) de surface filtrante  $S = 0,24\text{ m}^2$ . Une partie du liquide est filtrée tangentiellement au flux initial, tandis que l'autre partie recircule dans le bac d'alimentation pour une nouvelle filtration. Au cours de cette opération, l'amidon s'accumule dans le fond du bac d'alimentation (retentât) concomitamment à la perméation des actifs hydrosolubles (extrait clarifié). L'extrait clarifié ou permeât de microfiltration (MFT) est ensuite amené dans le bac d'alimentation du module d'Osmose Inverse (OI) munie d'une membrane polymère composite de type SW 30-2540 (Filmtec), de surface filtrante  $S = 2,5\text{ m}^2$  et de porosité  $\varnothing = 0,1\text{ nm}$ , pour être concentré contre un gradient de pression transmembranaire (PTM = 40 bar) (Figure 3). Les composés bioactifs du permeât MFT s'accumulent dans le bac d'alimentation (retentât d'OI, OI ou concentré) concomitamment à une perméation d'eau pure. Des aliquotes de ces extraits PFT, MFT, OI sont prélevées et des analyses physico-chimiques et microbiologiques y sont effectuées.



**Figure 1.** Rhizomes frais entier.



**Figure 2.** Rhizomes frais broyés.



**Figure 3.** Pilote de technologies membranaires.

## 2.2. Analyses physico-chimiques des co-produits

Les extraits et les co-produits (PFT, MFT et OI) de gingembre ont été caractérisés. Les paramètres étudiés sont : le potentiel d'hydrogène, les teneurs en phénols totaux, le profil polyphénolique (HPLC), l'activité antioxydante et la qualité microbiologique des différents extraits.

## 2.3. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH d'une prise d'essai de 20 ml est mesuré à l'aide d'un pH-mètre Testo type 4 (Testo, France) préalablement étalonné avec deux solutions tampon (pH 4,0 et pH 7,0). Les mesures sont réalisées en triple.

## 2.4. Polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalteu

Le dosage des polyphénols totaux a été réalisé à partir de la méthode de Singleton et Rossi (1965) modifiée par Wood et al. (2002). Un volume de 2,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu (1/10) a été ajouté à 30 µl d'extrait. Le mélange a été maintenu pendant 2 min dans l'obscurité à température ambiante, puis 2 ml de solution de carbonate de sodium (75 g/l) ont été ajoutés. Ensuite, le mélange a été placé pendant 15 min au bain-marie à 50 °C, puis refroidi rapidement. L'absorbance a été mesurée à 760 nm, avec de l'eau distillée comme blanc. Une droite d'étalonnage a été réalisée avec l'acide gallique (1 g/l) à différentes concentrations. Les analyses ont été réalisées en triple et la concentration en polyphénols a été exprimée en grammes par litre d'extrait équivalent acide gallique (g/l Eq AG).

## 2.5. Analyse HPLC

La composition polyphénolique a été réalisée selon la méthode décrite par Jolad et al. (2004) via un système HPLC (Shimadzu – SPD – 10A, Japon) équipé d'une pompe binaire LC – 6A fonctionnant en mode isocratique, d'un détecteur C-3A chromoptique (Tarzat Matignon, France). Le mélange eau/acétonitrile (35/65; v/v) constitue l'éluant. Le débit d'élution est de 1 ml/min pour un temps d'analyse de 10 min. La colonne utilisée est de type C 18, 250 × 4,5 mm (Merck) et la détection a été réalisée à  $\lambda = 282$  nm. La visualisation des profils s'est faite à l'aide d'un intégrateur (GR 3A Shimadzu, Japon) doté d'une imprimante traçante thermique haute sensibilité.

## 2.6. Activité antioxydante par la méthode au 1,1-diphényl-2-picryl-hydrazyle (DPPH)

Le pouvoir anti-radicalaire des extraits de rhizomes de gingembre a été évalué en suivant la cinétique d'inhibition du radical stable DPPH<sup>•</sup> par spectrophotométrie UV-visible. La détermination du pourcentage d'inhibition est réalisée suivant la méthode proposée par Brand-Williams (1995). 100 µl de chaque extrait méthanolique dilué des rhizomes de *Z. officinale* ont été ajoutés à 2,9 ml de DPPH méthanolique à  $7,36 \cdot 10^{-5}$  M (soit 29 mg/l) préparée le jour de l'expérience et conservée à l'abri de la lumière. Le mélange est ensuite vigoureusement agité et incubé pendant 5 min à l'abri de la lumière à la température ambiante. L'absorbance est ensuite lue à 515 nm contre le méthanol. La décoloration du DPPH se traduit par une décroissance de l'absorbance mesurée au spectrophotomètre jusqu'au stade plateau. Le pourcentage d'inhibition (% inh) obtenu avec les extraits méthanoliques des rhizomes de *Z. officinale* est calculé à partir de la formule suivante :

$$\% \text{ inh} = ((A_{\text{DPPH}} - A_e) \times 100) / A_{\text{DPPH}}$$

avec :  $A_{\text{DPPH}}$  : absorbance initiale de la solution de DPPH

$A_e$  : absorbance initiale de l'extrait.

L'activité antiradicalaire mesurée a été exprimée en concentration efficace ( $EC_{50}$ ) qui est la concentration efficace capable de provoquer 50 % d'inhibition du radical DPPH. Elle est déterminée à partir de la droite de régression (%DPPH restant = f (concentrations)) et permet de calculer l'activité antioxydante (AAO) selon la formule suivante :  $AAO = 1/EC_{50}$ .

$$EC_{50} = (50-b)/a$$

avec a comme coefficient directeur de la droite de  $y = ax + b$  et b la coordonnée à l'origine.

La méthode a été étalonnée par des solutions méthanoliques de DPPH de concentration allant de 2,94 à 73,6  $\mu\text{M}$ .

## 2.7. Analyse microbiologique

La qualité microbiologique des extraits de *Z. officinale* (brut PFT, retentât, MFT et OI) a été établie selon la norme ISO 4833 (Anonyme, 2002). Les échantillons ont été préalablement conditionnés dans des boîtes stériles puis placés au congélateur 24 h avant les analyses. Une aliquote de 1 ml de l'échantillon est prélevée sous une hotte à flux laminaire, près de la flamme d'un bec Bunsen et mise dans un tube à essai contenant 9 ml d'eau physiologique (9 g de NaCl dans 1 litre d'eau distillée). Après homogénéisation, une solution de dilution  $10^{-1}$  est obtenue. Des dilutions successives sont ensuite réalisées et les ensemencements (0,1 ml) effectués en surface de gélose Plate Count Agar (PCA). L'incubation s'est faite à 30°C pendant 72 h. Le dénombrement des germes aérobies mésophiles, réalisé sur les boîtes de Petri présentant une croissance de colonies (15 et 300), s'est fait par comptage direct à l'aide d'un compteur de colonies. Le nombre de germes (N) pour un dénombrement en milieu solide est donné par la formule suivante :

$$N = [\sum C / (n_1 + 0,1 n_2) d] \times [1/V]$$

avec  $\sum C$  : somme des colonies comptées sur toutes les boîtes de Petri retenues (en UFC)

N : nombre de germes par ml de produit pur (en UFC/ml),

V : volume de solution déposée,

$n_1$  : nombre de boîtes considérées à la première dilution retenue,

$n_2$  : nombre de boîtes considérées à la seconde dilution retenue,

d : facteur de la première dilution retenue.

## 3. Résultats et Discussion

### 3.1. Production et caractérisation physico-chimique des extraits

#### 3.1.1. Fabrication de concentrés d'extraits de gingembre par TSM

Deux productions (P1 et P2) d'extraits de gingembre ont été réalisées au pilote semi-industriel au cours de ces travaux. Les co-produits obtenus, extraits bruts (PFT), clarifiés (MFT), retentâts MFT et concentrés (OI), ont été analysés. Le procédé de concentration induisant une perméation d'eau simultanément à l'accumulation d'actifs, il se produit inéluctablement une réduction de volume d'extrait comptabilisé par le facteur de réduction volumique (FRV). Les valeurs obtenues sont consignées dans le tableau 1, de même que les conditions d'opération.

**Tableau 1.** Conditions pilote de production de jus de gingembre.

Productions	Ratios	Vol. (VA)	PFT	MFT	Retentât	OI	FRV
P1	2/100	100	99	85	14	1,6	62
P2	2/100	100	99	88,5	11,5	2,1	47

Nb : Excepté les valeurs du ratio, toutes les autres valeurs sont exprimées en litre.

Pour un volume de 100 l d'extrait brut traité dans chaque cas, les facteurs de réduction volumiques (FRV) sont de 62 % et 47 %, respectivement pour P1 et P2. Cette différence observée est due à la variation du volume de concentré recueilli en fin de production ; FRV étant le rapport du volume d'alimentation (VA) au volume de concentré (VC).

Les observations effectuées sur les co-produits obtenus ont montré une coloration variant du jaune clair (extrait MFT) au jaune foncé (extrait brut PFT) (Tableau 2). L'extrait concentré OI est par contre un produit de couleur brune. Le gingembre étant également reconnu et apprécié pour sa saveur piquante, il a été observé que cette saveur croît de l'extrait clarifié (MFT) à l'extrait concentré (OI). L'extrait brut (analogue de l'extrait traditionnel) présente une saveur relativement plus piquante que l'extrait clarifié (Tableau 2).

**Tableau 2.** Couleur et aspect piquant des différents jus de gingembre.

	PFT	MFT	Retentât	OI	Productions
Couleur	++	+	+++	+++	P1
	++	+	+++	+++	P2
Goût piquant	++	+	+	+++	P1
	++	+	+	+++	P2

NB : Couleur :+ jaune claire; ++ jaune pale; +++ jaune foncé; ++++ brun. Aspect piquant : + moins piquant; ++ piquant; +++ très piquant.

L'analyse des extraits troubles (bruts et retentâts de MFT) laissés au repos pendant 24 h a permis d'observer un dépôt blanchâtre obtenu par décantation de ces matières en suspension. La littérature rapporte que ce dépôt serait de l'amidon. La caractérisation de ce dépôt par des tests à l'eau iodée a révélé la présence d'amidon.

## 3.2. Caractérisation physico-chimique des extraits

### 3.2.1. Potentiel hydrogène

Le tableau 4 indique de façon globale, une augmentation de la valeur du pH de l'extrait MFT tandis que celle du retentât baisse par rapport à celui du PFT. Cette variation des valeurs de pH des co-produits de P1 et P2 s'explique par un phénomène de relargage notable d'acides organiques intrinsèques des rhizomes vers la solution d'extraction. Les extraits clarifiés (MFT) sont alors dépourvus de ces suspensions solubles retenues par la membrane ; tandis que les retentâts de MFT sont des concentrés de ces suspensions.

**Tableau 4.** Quelques caractéristiques physiques des co-produits.

Production	P1		FRV=62		P2		FRV=47	
Co-produits	PFT	MFT	Retentât	OI	PFT	MFT	Retentât	OI
pH	5,27	6,31	5,24	6,08	5,25	5,93	5,1	5,68

### 3.2.2. Teneurs en polyphénols

Les taux de polyphénols totaux des co-produits (Tableau 3) ont été déterminés. On remarque que les teneurs en polyphénols totaux dosés sont plus élevées dans les extraits concentrés (OI) avec respectivement 97,5 et 84,5 mg d'équivalent d'acide gallique pour 100 g de matières fraîches comparativement à l'extrait brut (16,5 à 10 mg/g matières fraîches). On peut affirmer donc que l'osmose inverse permet la concentration des polyphénols. Le fait que cet extrait soit le plus piquant couplé à la forte présence de polyphénols confirme les observations de Jolad et al. (2004) selon lesquelles les composés phénoliques contribuent à la saveur piquante des extraits de gingembre.

**Tableau 3.** Caractéristiques chimiques des co-produits.

Production	P1	FRV=62				P2	FRV=47			
Co-produits	PFT	MFT	Retentât	OI	FC	PFT	MFT	Retentât	OI	FC
Polyphénols totaux 1	16.5	10	24	97.5	10	10	3	30,5	84,5	28

1 = mg d'équivalent d'acide gallique pour 100g de matières fraîches.

La figure 4 présente les profils chromatographiques à  $\lambda_{\max} = 282$  nm des polyphénols de deux co-produits obtenus au cours de la production P1 des extraits brut (PFT) et concentré OI. L'analyse HPLC des profils chromatographiques montre la présence de trois composés majeurs p1 (temps de rétention : TR = 2,32 min), p2 (TR = 3,94 min) et p3 (TR = 5,68 min). Ces résultats sont confirmés par ceux de Jolad et al. (2004). En effet, ces auteurs qui ont effectué leurs travaux dans des conditions identiques aux nôtres, ont observé un profil chromatographique similaire comportant trois pics. Ils les ont identifiés comme étant successivement le 6-gingerol, le 8-gingerol et le 6-shogaol. Les trois pics de composés sont supposés être le 6-gingerol, le 8-gingerol et le 6-shogaol. Des analyses complémentaires pour la confirmation de leur identité structurale sont à entrevoir.

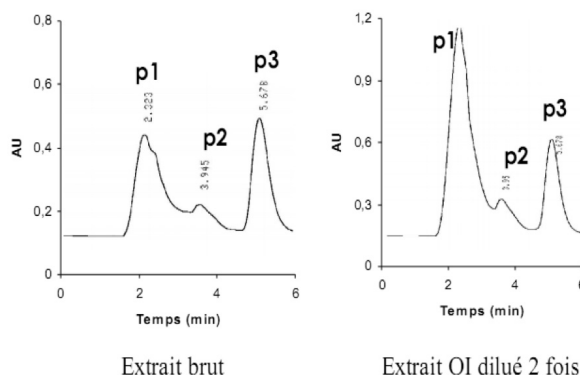
Au point de vue technologique, il a été noté que le couplage de procédés exploités entraîne une accumulation d'actifs dans le co-produit final. On observe une augmentation notable de l'amplitude des pics de l'extrait OI par rapport à l'extrait brut. Cela nous permet de conclure que l'extrait OI est un concentré d'actifs polyphénoliques.

### 3.2.3. Activité antioxydante

L'évaluation de l'activité antioxydante effectuée par la méthode DPPH sur les extraits de la première production ont permis d'observer une décoloration (du violet au jaune) de la préparation de DPPH initial pour des temps de contact de 30 à 180 min. L'activité antioxydante croît 1,6 dans le concentré OI par rapport aux extraits bruts. Ce rapport de variation diffère de celui des polyphénols totaux (6 fois) et pourrait s'expliquer par des cas d'effets d'antagonismes entre certains composés polyphénoliques constitutifs.

### 3.2.4. État sanitaire des extraits

On a évalué l'état de salubrité générale des co-produits (Brut et MFT) des deux productions par l'analyse des Germes Aérobie Mésophile (GAM). Le tableau 6 montre qu'il n'y a pas de germes dans les extraits MFT comparativement aux extraits bruts (PFT) et aux retentats où il est observé une très forte charge microbienne ( $1,4 \cdot 10^5$  et  $4,2 \cdot 10^5$  UFC/ml dans le PFT et le retentât respectivement). Le nombre de GAM dans les extraits bruts et retentats est 30 à 200 fois supérieur à la valeur référence ( $5 \cdot 10^3$  UFC/ml) fixée par la norme NF V 08-05. L'opération de clarification permet d'éliminer à froid, la charge bactérienne du produit.



**Figure 4.** Profil HPLC des polyphénols d'extraits aqueux de rhizomes de *Z. officinale*.

Ce qui peut permettre d'émettre l'hypothèse selon laquelle les extraits concentrés obtenus par traitement des extraits clarifiés sont dépourvus également de charge microbienne.

**Tableau 5.** AAO de co-produits de la production P2.

Paramètres	Brut	OI
EC50*	2,11	1,31
AAO	0,47	0,7

**Tableau 6.** Résultats du dénombrement (N) des GAM en UFC/ml (P2 et P3).

Production	PFT	Retentât	MFT	OI
P2	4,2.10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	absence	1 836
P3	1,4.10 <sup>5</sup>	9,10 <sup>5</sup>	absence	660

## 4. Conclusion

Cette étude a mis en relief l'importance de l'application des techniques séparatives membranaires à l'élaboration d'un nouveau produit, à partir du nectar de rhizomes de gingembre. L'éco-procédé proposé a permis de séparer l'amidon indigeste et de préparer à l'échelle semi-industrielle un produit nouveau à forte valeur ajoutée : l'extrait concentré d'actifs hydrosolubles de gingembre. Cet extrait concentré final est très élaboré et peut être dépourvu de bactéries. Il a une saveur très piquante qui laisse supposer la présence des biomolécules polyphénoliques majeures telles que 6- et 8-gingerol et 6-shogaol. L'activité antioxydante y est également doublée comparativement à celle des extraits bruts. Il importe pour mieux valoriser ce travail de mener des recherches complémentaires portées notamment sur la salubrité microbiologique de tous les extraits de ce procédé, les structures moléculaires des composés actifs de ce concentré, l'application de ce produit nouveau dans les recettes culinaires et la formulation de nouvelles recettes.

## Remerciements

Les auteurs expriment leur profonde gratitude à l'Ambassade de France en Côte d'Ivoire pour avoir financé le projet FSD qui a permis le transfert de cette technologie innovante en Côte d'Ivoire.

## Bibliographie

- Abid A., Garali A., 2010. Apport nutritionnel des épices et arômes, Intérêt pour la Santé. In : *5<sup>e</sup> Rencontre Scientifique de l'Association Tunisienne des Sciences de la Nutrition. Session II. Nabeul, Tunisie.*
- Amani N.G.G., Tetchi F.A., Aïssatou C., 2004. Propriétés physico-chimiques de l'amidon de gingembre de Côte d'Ivoire. *Tropicultura*, **22**(2), 77-83.
- Anonyme, 2002. *ISO 4833:1991. Microbiologie – Directives générales pour le dénombrement des micro-organismes. Méthode par comptage des colonies obtenues à 30 degrés C.* ISO, Genève.
- Borget M., 1991. *Les plantes tropicales à épices.* Maisonneuve et Larose, Paris, 182 p.
- Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, **28**(1), 25-30.
- Chen C.C., Kuo M.C., Ho C.T., 1986. High performance liquid chromatographic determination of pungent gingerol compounds of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Journal of Food Science*, **51**(5), 1364-1365.



- Ghasemzadeh A., Jaafar H.Z.E., Rahmat A., Wahab P.E.M., Halim M.R.A., 2010. Effect of different light intensities on total phenolics and flavonoids synthesis and anti-oxidant activities in young ginger varieties (*Zingiber officinale* Roscoe). *International Journal of Molecular Sciences*, **11**(10), 3885-3897.
- Jolad S.D. et al., 2004. Fresh organically grown ginger (*Zingiber officinale*): composition and effects on LPS-induced PGE<sub>2</sub> production. *Phytochemistry*, **65**, 1937-1954.
- Pradeep K.U., Georvani P., Eggum B.O., 1993. Common indian spices: nutrient composition, consumption and contribution to dietary. *Plant Foods for Human Nutrition*, **44**(2), 137-148.
- Ratnambal J.M., Gopalam A., Nair M.K., 1997. Quality evaluation in ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) in relation to maturity. *Journal of Plantation Crops*, **15**(2), 108-117.
- Singleton V.L., Rossi J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-6-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, **16**, 144-158.
- Wood J.E., Senthilmohan S.T., Alexander V., 2002. Antioxidant activity of procyanin – 4 containing plant extracts at different pHs. *Food Chemistry*, **77**, 155-161.



## Potentiel protéolytique des extraits de trois plantes endémiques comestibles du Cameroun : *Abrus precatorius* L., *Burnatia enneandra* Micheli et *Ziziphus mauritiana* Lam.

Mezajoug Kenfack Laurette Blandine, Université de Maroua, Université de Ngaoundéré, Cameroun,  
E-mail : mezajouglaurette@yahoo.fr

Ngangoum Éric Serges, Université de Ngaoundéré, Cameroun, E-mail : engangoum@yahoo.com

Linder Michel, ENSAIA, Université de Lorraine, Vandoeuvre-lès-Nancy, France,

E-mail : michel.linder@univ-lorraine.fr

### Résumé

*Abrus precatorius*, *Burnatia enneandra* et *Ziziphus mauritiana* sont trois plantes endémiques comestibles de la région du grand Nord au Cameroun dont les extraits présentent une activité amylasique connue. Ces plantes pourraient éventuellement avoir aussi entre autres une activité protéolytique exploitable. Dans le but de contribuer à leur valorisation et éventuellement de les utiliser pour hydrolyser les protéines alimentaires végétales, l'activité protéolytique des extraits bruts de ces trois plantes a été mesurée. L'extraction des protéases des tiges et feuilles de *A. precatorius*, des tubercules de *B. enneandra* et des feuilles de *Z. mauritiana* s'est faite dans une solution tampon acétate. Pour optimiser les paramètres d'extraction, un plan composite centré en fonction du temps (20-75 min), du pH (4,5-5,5) et du ratio masse/volume du solvant (1-2% : g/ml) a été utilisé. La mise en évidence de l'activité protéolytique a utilisé la caséine comme substrat. Les valeurs optimales de temps, pH et du ratio masse/volume pour l'extraction des protéines sont : (37 min ; 4,60 ; 2,24% : g/ml), (35 min ; 4,49 ; 2,24% : g/ml) et (7 min ; 4,49 ; 1,84% : g/ml) pour *A. precatorius*, *B. enneandra* et *Z. mauritiana* respectivement. Ces conditions d'extraction correspondent à des concentrations protéiques de 3,70 (*A. precatorius*) ; 2,83 (*B. enneandra*) et 2,59 (*Z. mauritiana*) mg de protéines/g de matière sèche. Les valeurs d'activité enzymatique correspondantes sont de : 34,60 U/ml, 32,08 U/ml et de 37,24 U/ml respectivement.

### Proteolytical potential of extracts from three endemic plants in Cameroon: *Abrus precatorius* L., *Burnatia enneandra* Micheli et *Ziziphus mauritiana* Lam

*A. precatorius*, *B. enneandra* and *Z. mauritiana* are three edible plants from North Region of Cameroon which extracts present amylasic activity. Those plants could also have proteolytic activity. In the aim to contribute to the valorization of underused endemic plants, proteolytic activities of crude extracts from those three plants were studied. Using a central composite design nineteen protein extracts were prepared at time periods (20-75 min), pH (4.5-5.5) and solute/solvent ratio (1-2%) on the powders of stem and leaves of *A. precatorius*, the tubers of the *B. enneandra* and the branches and leaves of *Z. mauritiana*. For each plant, the optimized extract was assayed for enzyme activity. The Lowry method was used for determination of the protein content of crude extract. The optimal values of time, pH and weight/volume ratio for the extraction of the proteins are: (37 min; 4.60; 2.24%), (35 min; 4.49; 2.24%) and (7 min; 4.49; 1.84%) for *A. precatorius*, *B. enneandra* and *Z. mauritiana* respectively, for protein concentrations 3.70 (*A. precatorius*); 2.83 (*B. enneandra*) and 2.59 (*Z. mauritiana*) mg/g of dry sample. These extracts presented an activity of: 34.60 U/ml, 32.08 U/ml and 37.24 U/ml for *A. precatorius*, *B. enneandra* and *Z. mauritiana* respectively.

## 1. Introduction

Les enzymes protéolytiques ou protéases sont des enzymes qui catalysent l'hydrolyse des protéines. Par la diversité de leurs applications, elles représentent l'un des plus grands groupes d'enzymes industrielles et ont plusieurs applications en industrie agroalimentaire (El-Beltagy et al., 2004). L'hydrolyse chimique et enzymatique des protéines est une des méthodes utilisées pour rendre plus digestibles les protéines alimentaires. L'hydrolyse chimique est cependant difficilement contrôlable ce qui n'est pas le cas pour l'hydrolyse enzymatique. Les protéases utilisées au Cameroun sont généralement importées mais les conditions d'approvisionnement restent difficiles et les coûts élevés. Les protéases végétales sont ainsi de plus en plus recherchées pour pallier à la forte demande et au coût des protéases industrielles. C'est ainsi que les extraits de *Ananas comosus* (bromeline) et de *Carica papaya* (papaïne) sont utilisés en remplacement de la présure et de la pepsine respectivement (Cattaneo et al., 1994 ; Galindo-Estrella et al., 2009).

*Abrus precatorius* (Fabacée), *Burnatia enneandra* (Alismatacée) et *Z. mauritiana* (Rhamnaceae) sont 3 plantes endémiques comestibles au Cameroun (Glew et al., 2010), dont les extraits présentent une activité amylasique connue dans la préparation des bouillies. Dans la région septentrionale du Cameroun, en plus d'être utilisées comme médicament, les feuilles de *A. precatorius* sont utilisées pour liquéfier le moût servant à la fabrication d'une boisson fermentée appelée *bili-bili* (bière locale) et pour sucrer les bouillies fabriquées à base de mil rouge (Glew et al., 2010). Le tubercule de *B. enneandra* sert d'additif pour améliorer le goût et augmenter la densité des bouillies infantiles à base de céréales (Glew et al., 2010). Les feuilles de *Z. mauritiana* sont consommées comme légume (Thanatcha, Pranee, 2011).

Ces plantes pourraient éventuellement avoir aussi entre autres une activité protéolytique exploitable. En effet, d'après El-Beltagy et al. (2004), tout organisme vivant peut être une source d'enzyme protéolytique. Cependant ces plantes n'ont fait l'objet d'aucune étude scientifique sur leurs aspects protéolytiques d'où l'objectif du présent travail qui est la valorisation des plantes endémiques locales sources de protéases. Plus spécifiquement, il est question de :

- déterminer les conditions optimales de temps, pH et du ratio masse/volume du solvant d'extraction des protéases des trois plantes ;
- mettre en évidence la présence des protéases dans les extraits bruts de *A. precatorius*, *B. enneandra* et de *Z. mauritiana* et mesurer leur activité protéolytique ;
- étudier l'influence du pH sur l'activité enzymatique des extraits de ces plantes.

## 2. Méthodologie

### 2.1. Échantillonnage

Les tiges et feuilles de *A. precatorius* et de *Z. mauritiana* ont été récoltées à Ngaoundéré (Adamaoua - Cameroun). Les tubercules de *B. enneandra* ont été récoltés à Kaélé (Extrême-Nord Cameroun). La figure 1 résume les étapes d'obtention des poudres végétales et des extraits bruts de *A. precatorius*, de *B. enneandra* et de *Z. mauritiana*.

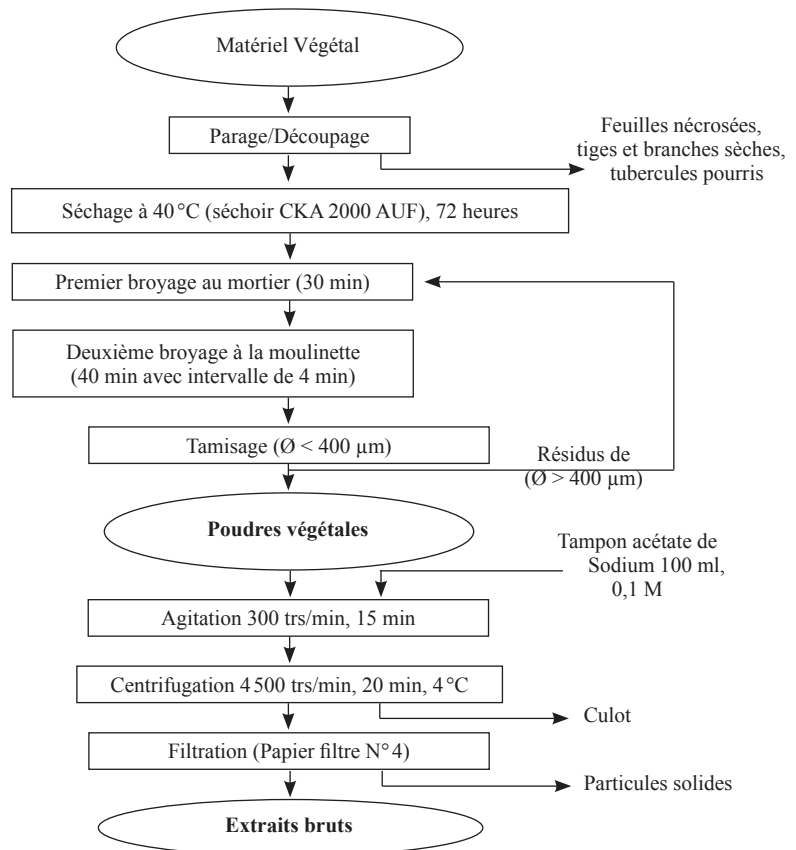
### 2.2. Analyses chimiques

La matière sèche et la teneur en protéines brutes des feuilles, des tiges de *A. precatorius*, de *Z. mauritiana* et des tubercules de *B. enneandra* a été déterminée par la méthode AOAC (1990).

### 2.3. Extraction des protéines enzymatiques

L'extraction des protéases s'est faite à partir des poudres végétales (Figure 1) de *A. precatorius*, de *B. enneandra* et de *Z. mauritiana* dans une solution tampon acétate contenant 2 % (m/v) de chlorure de sodium (Guiama et al., 2010).

La méthodologie des surfaces de réponse est mise en œuvre pour étudier l'influence du pH (4,5-5,5), du temps d'extraction (20-75 min) et du ratio masse/volume (1-2 %) sur l'extraction des protéines enzymatiques de *A. precatorius*, de *B. enneandra* et de *Z. mauritiana*. Le plan composite centré dont la matrice expérimentale est présentée au tableau 1, est utilisé à cet effet (Amid et al., 2011).



**Figure 1.** Procédé d'obtention des poudres végétales et des extraits bruts de *A. precatorius*, *B. enneandra* et de *Z. mauritiana*.

**Tableau 1.** Matrice d'expériences du dispositif composite centré.

N° Essais	Temps	pH	Ratio m/v
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	-1,47119	0	0
10	1,47119	0	0
11	0	-1,47119	0
12	0	1,47119	0
13	0	0	-1,47119
14	0	0	1,47119
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0

Les étendues pour chaque facteur sont fixées à partir des essais préliminaires et des données de la littérature (Amid et al., 2011). Les variables indépendantes, les symboles, les niveaux et les valeurs réelles des variables indépendantes sont donnés dans le tableau 2.

**Tableau 2.** Variables indépendantes et leurs niveaux utilisés dans le dispositif composite centré.

Variables indépendantes	Symboles	Niveaux	Valeurs réelles
Temps d'extraction (min)	$X_1$	-1	20
		0	47,5
		1	75
pH	$X_2$	-1	4,5
		0	5,0
		1	5,5
Ratio masse/solvant (m/v ; %)	$X_3$	-1	1,0
		0	1,5
		1	2,0

La conversion de la variable codée d'un facteur à sa variable réelle est donnée par l'équation suivante :  $X_i = \Delta X_i \cdot x_i + X_0$   
 avec :  $x_i$  et  $X_i$  : valeurs des variables codées et réelles  $i$  ;  $X_0$  : valeur de la variable réelle  $i$  au centre ;  $\Delta X_i$  : pas de variation de  $X_i$ .

## 2.4. Teneurs en protéines des extraits enzymatiques bruts

La teneur en protéines des extraits enzymatiques bruts de *A. precatorius*, *B. enneandra* et de *Z. mauritiana* est déterminée selon Lowry et al. (1951).

## 2.5. Mise en évidence et mesure de l'activité protéolytique

L'activité protéolytique est mise en évidence par la méthode modifiée de Galindo-Estrella et al. (2009). La caséine à 1 % (m/v) préparée dans du tampon citrate (pH 6,2) est mélangée à 120 µl d'extrait enzymatique brut. L'ensemble est incubé à 30 °C pendant 15, 30, 45, 60, 75, et 90 min. La réaction est arrêtée par chauffage à 100 °C pendant 5 min puis chaque extrait hydrolysé est mélangé au TCA 5 % (m/v) dans un ratio 1/2. Après 10 min de repos, l'ensemble est centrifugé à 4500 trs/min pendant 25 min et le surnageant est recueilli pour la mesure de l'absorbance à 280 nm.

La caséine est utilisée comme substrat pour la mesure de l'activité protéolytique des extraits bruts de *A. precatorius*, *B. enneandra* et de *Z. mauritiana* (Galindo-Estrella et al., 2009). Le milieu réactionnel contenant 0,5 ml d'extrait enzymatique brut, 1,5 ml de tampon citrate 0,1 M (pH 6,2) et 2,5 ml de caséine (2,5 % : m/v) est incubé à 37 °C pendant 1 h dans un bain-marie agitateur. La réaction est arrêtée en y ajoutant 2 ml de TCA (10 % : m/v) puis l'ensemble est centrifugé à 4500 trs/min pendant 15 min. 0,5 ml du surnageant est mélangé à 2,5 ml de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> à 2 % préparé dans le NaOH (0,1 N). Après agitation et incubation pendant 15 min à température ambiante, 0,25 ml de Folin-Ciocalteu (1/4 : v/v) est ajouté. L'ensemble est bien agité et laissé à l'obscurité pendant 30 min puis l'absorbance est lue à 750 nm. L'activité est calculée par référence à une courbe d'étalonnage établie en utilisant la tyrosine (0,1 g/l) comme standard. Une unité (U) de protéase est l'équivalent de 1 µg de tyrosine libérée pendant 1 h de temps par 1 ml d'une solution d'enzyme. Le blanc est préparé de la même manière dans les mêmes conditions, mais le TCA est rajouté avant le substrat.

## 2.6. Influence du pH sur l'activité enzymatique des extraits bruts

L'influence du pH est étudiée en mesurant 120 µl d'activité enzymatique des extraits de *A. precatorius*, *B. enneandra* et de *Z. mauritiana* sur 1 % (g/ml) de substrat dissout dans des solutions tampons à différents pH (4-12). Les substrats utilisés sont le SBA (Sérum Bovin Albumine) dans les tampons de pH allant de 4 à 6, et la caséine pour les tampons de pH supérieur à 6 (Michail et al., 2006). Le pH optimal est déterminé à partir de la courbe d'activité enzymatique fonction du pH.

## 2.7. Dispositif expérimental et analyses statistiques

L'effet des trois variables indépendantes (pH, température et ratio masse/solvant) sur l'extraction des protéines enzymatiques des feuilles et tiges de *A. precatorius*, de *Z. mauritiana* et des tubercules de *B. enneandra* est étudié dans un plan composite centré. Pour chaque poudre végétale et pour chaque variable, 19 extractions sont faites à 3 niveaux (Tableau 1). Le modèle mathématique postulé pour expliquer les différentes réponses obtenues est de type polynomial de second degré avec interactions (Amid et al., 2011) :

$$y = \beta_0 + \sum_i \beta_i x_i + \sum_{ii} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{ij} \beta_{ij} x_i x_{ij}$$

avec Y : concentration en protéines extraites (réponse),  $x_i$  et  $x_j$  : variables indépendantes,  $\beta_0$  : constante de l'équation,  $\beta_i$  : coefficient linéaire,  $\beta_{ii}$  : coefficient quadratique,  $\beta_{ij}$  : coefficient d'interaction.

Ce modèle est validé lorsque le coefficient de détermination R<sup>2</sup> est supérieur à 0,80 (Joglekar, May, 1987), le facteur de biais compris entre 0,75-1,25 (Dalgaard, Jorgensen, 1998), l'analyse absolue de déviation moyenne proche de 0 (Bas, Boyac, 2007). Le logiciel STAGRAPHS PLUS 5.0 est utilisé pour l'analyse des résultats. L'analyse de variance (ANOVA) est utilisée pour déterminer l'influence de chaque facteur (pH, temps, ratio masse/solvant) ainsi que leur degré de signification. Les valeurs ayant des probabilités inférieures à 0,05 sont considérées dans le modèle. Les logiciels STATGRAPHICS PLUS 5.0 et MATHCAD 14 sont utilisés pour l'optimisation des résultats.



### 3. Résultats

#### 3.1. Extraction des protéines enzymatiques

Les réponses expérimentales et théoriques des 19 expériences du plan d'expérience appliqué à l'extraction des protéines de *A. precatorius*, *B. enneandra* et de *Z. mauritiana* sont présentées dans le tableau 3.

**Tableau 3.** Résultats expérimentaux et théoriques du dispositif composite centré appliqué sur *A. precatorius*, *B. enneandra* et *Z. mauritiana*.

N° d'essais	Variables Codées			<i>A. precatorius</i>		<i>B. enneandra</i>		<i>Z. mauritiana</i>	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>1exp</sub>	Y <sub>1Cal</sub>	Y <sub>2exp</sub>	Y <sub>2Cal</sub>	Y <sub>3exp</sub>	Y <sub>3Cal</sub>
1	-1	-1	-1	0,74	0,66	0,50	0,48	1,60	1,50
2	1	-1	-1	0,27	0,11	0,42	0,38	0,94	0,75
3	-1	1	-1	0,59	0,49	0,16	0,73	0,14	0,1
4	1	1	-1	0,2	0,12	0,12	0,10	0,2	0,2
5	-1	-1	1	1,32	1,27	1,02	1,05	1,73	1,64
6	1	-1	1	1,02	1,00	0,96	0,88	0,64	0,59
7	-1	1	1	0,37	0,40	0,33	0,38	0,49	0,57
8	1	1	1	0,36	0,32	0,13	0,14	0,39	0,39
9	-1,47119	0	0	1,02	0,96	0,84	0,73	1,22	1,29
10	1,47119	0	0	0,49	0,50	0,40	0,48	0,49	0,61
11	0	-1,47119	0	0,61	0,46	0,70	0,77	0,88	1,14
12	0	1,47119	0	0,07	-0,16	0,17	0,07	0,03	-0,04
13	0	0	1,47119	0,74	0,83	0,44	0,43	0,79	0,97
14	0	0	1,47119	1,57	1,43	0,90	0,89	1,20	1,20
15	0	0	0	0,95	0,98	0,84	0,84	1,27	1,24
16	0	0	0	0,98	0,98	0,83	0,84	1,27	1,24
17	0	0	0	0,97	0,98	0,84	0,84	1,26	1,24
18	0	0	0	0,99	0,98	0,83	0,84	1,27	1,24
19	0	0	0	0,98	0,98	0,84	0,84	1,28	1,24

X<sub>1</sub> = Temps d'extraction (min); X<sub>2</sub> = pH de la solution d'extraction; X<sub>3</sub> = ratio masse/ volume. Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub> et Y<sub>3</sub> (mg/ml) représentent les concentrations des protéines extraites respectivement de *A. precatorius*, *B. enneandra* et de *Z. mauritiana*.

#### 3.2. Modélisation des résultats d'extraction et validation des modèles

La modélisation des différentes réponses Y<sub>1</sub> (*A. precatorius*), Y<sub>2</sub> (*B. enneandra*) et Y<sub>3</sub> (*Z. mauritiana*) à l'aide du logiciel STATGRAPHICS Plus 5.0 génère les modèles suivants :

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= 0,983177 - 0,157739X_1 - 0,213062X_2 + 0,20246X_3 - 0,117831X_1 \\
 &+ 0,046875X_1X_2 + 0,069375X_1X_3 - 0,308415X_2 - 0,173125X_2X_3 + 0,0669774X_3 \\
 Y_2 &= 0,838743 - 0,0844627X_1 - 0,239546X_2 + 0,154582X_3 - 0,105684X_1 \\
 &- 0,01425X_1X_2 - 0,019X_1X_3 - 0,192776X_2 - 0,111X_2X_3 - 0,0821213X_3 \\
 Y_3 &= 1,23933 - 0,23206X_1 - 0,399765X_2 + 0,0784495X_3 - 0,134167X_1 \\
 &+ 0,21375X_1X_2 - 0,07375X_1X_3 - 0,318514X_2 + 0,088X_2X_3 - 0,0699459X_3
 \end{aligned}$$

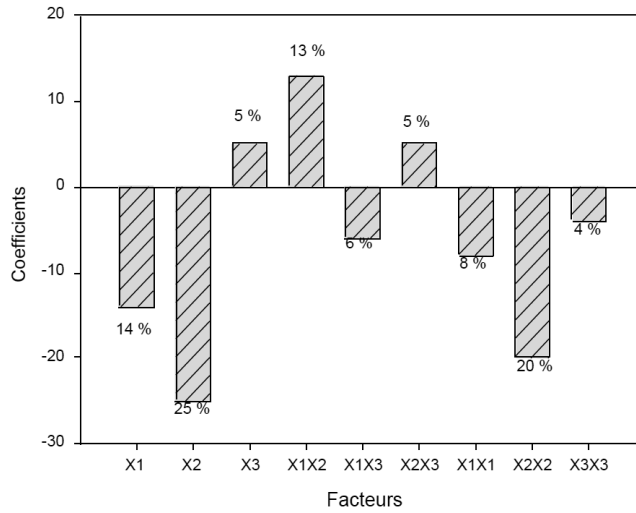
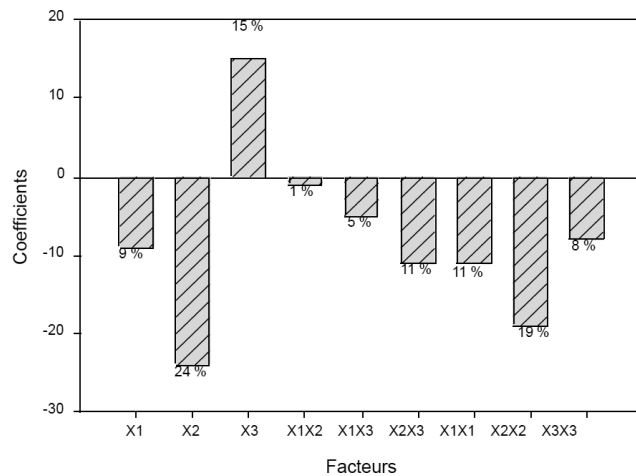
Pour chacun des modèles, les coefficients de détermination (R<sup>2</sup>), les valeurs de l'analyse absolue de déviation moyenne (AADM) ainsi que celles des facteurs de biais (B<sub>p</sub>) sont rassemblées dans le tableau 4.

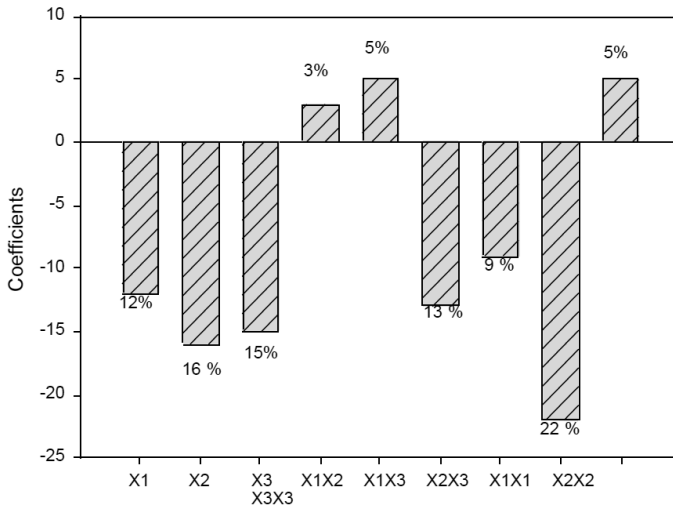
**Tableau 4.** Valeurs des paramètres permettant de valider les modèles.

Paramètres de validation	<i>A. precatorius</i>	<i>B. enneandra</i>	<i>Z. mauritiana</i>
R <sup>2</sup>	0,94	0,97	0,96
AADM	0,01	0,02	0,02
Facteur de biais (B <sub>j</sub> )	1,003	1,006	1,006

### 3.3. Analyse des variances et contribution des effets

Les figures 2, 3 et 4 montrent la contribution proportionnelle des différents effets sur l'extraction des protéines enzymatiques de ces trois plantes.

**Figure 2.** Contribution proportionnelle des différents effets sur l'extraction des protéines de *Z. mauritiana*.**Figure 3.** Contribution proportionnelle des différents effets sur l'extraction des protéines de *B. enneandra*.



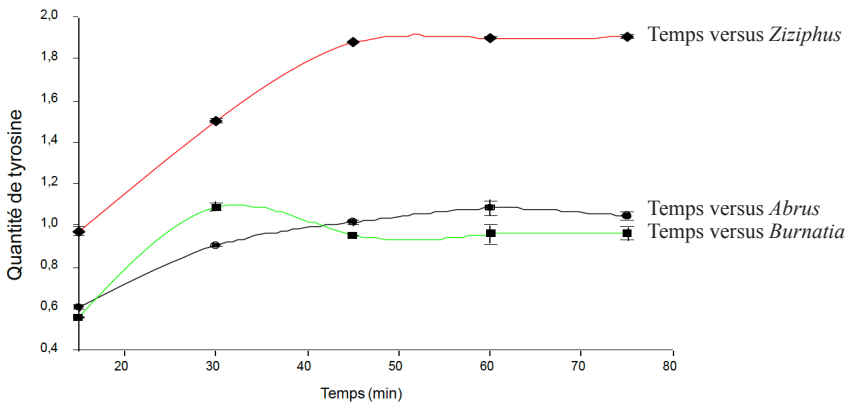
**Figure 4.** Contribution proportionnelle des différents effets sur l'extraction des protéines de *A. precatorius*.

### 3.4. Optimisation des paramètres pour l'extraction

Les combinaisons des différents paramètres étudiés permettent d'extraire 3,70; 2,80 et 2,59 mg/g de protéines de *A. precatorius* (37 min; pH 4,6; ratio masse/volume 2,24%), *B. enneandra* (35 min; pH 4,49; ratio masse/volume : 2,24%) et de *Z. mauritiana* (7 min; pH 4,5; ratio masse/volume : 1,84) respectivement.

### 3.5. Mise en évidence de l'activité protéolytique

Les courbes de la figure 5 montrent la quantité de tyrosine générée suite à l'hydrolyse de la caséine par les extraits bruts de *A. precatorius*, *B. enneandra* et *Z. mauritiana* en fonction du temps d'incubation.



**Figure 5.** Hydrolyse de la caséine en fonction du temps d'incubation.

### 3.6. Mesure de l'activité protéolytique et influence du pH

Les résultats sont de :  $37,24 \pm 0,03$  U/ml (*Z. mauritiana*);  $34,60 \pm 0,17$  U/ml (*A. precatorius*);  $32,08 \pm 0,13$  U/ml (*B. enneandra*).

Les courbes d'activité enzymatique des extraits bruts de *A. precatorius*, *B. enneandra* et de *Z. mauritiana* en fonction du pH (Figure 6) révèlent deux pics chacune.

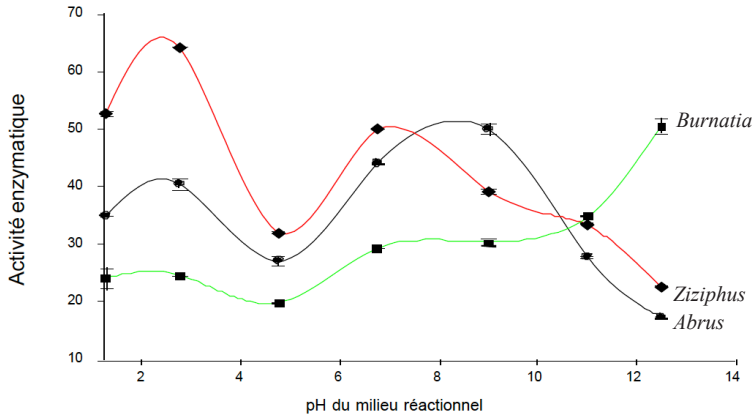


Figure 6. Activité enzymatique en fonction du pH du milieu réactionnel.

## 4. Discussion

Le tableau 3 montre que les facteurs étudiés (le temps d'extraction, le pH de la solution d'extraction et le ratio masse/solvant) influencent de façon différente la réponse expérimentale observée.

Les valeurs de  $R^2$  (coefficient de détermination) montrent que les modèles proposés peuvent être acceptés. En effet, Joglekar et May (1987) suggèrent que pour un bon ajustement d'un modèle, le coefficient de détermination  $R^2$  devrait être supérieur à 0,80. Les valeurs de l'analyse absolue de déviation moyenne (AADM) (Tableau 4) et celles des facteurs de biais ( $B_p$ ) confirment la convenance des modèles.

Des trois facteurs étudiés, le pH et son effet quadratique influencent le plus le phénomène d'extraction. La somme des contributions de ces effets donne des valeurs de 38 % (*A. precatorius*, figure 4), 43 % (*B. enneandra*, figure 3) et 45 % *Z. mauritiana* (Figure 2) ( $P < 0,05$ ). Cette forte contribution pourrait s'expliquer par la présence d'une quantité importante de groupements ionisables au sein des protéines. Ces résultats sont semblables à ceux trouvés par Amid et al. (2011) sur les peaux de mangue (*Mangifera indica* Cv. chokanan).

Le temps d'extraction influence ( $P < 0,05$ ) la quantité de protéines extraites. Les effets simples du temps sont supérieurs à ses effets quadratiques excepté le cas de *Z. mauritiana* (Figure 2). Ceci suppose que l'augmentation de la durée d'extraction est sans effet sur la réponse.

La phase croissante des courbes de la figure 5 traduit l'augmentation de la quantité de tyrosine en solution suite à l'hydrolyse de la caséine par les extraits enzymatiques de *A. precatorius*, *B. enneandra* et *Z. mauritiana*. Ceci révèle la présence de protéase dans les extraits bruts de ces plantes. Les quantités de tyrosine libérées correspondantes sont de 1,08 ;

1,09 et 1,90 µg/ml respectivement. Ces résultats corroborent ceux obtenus avec les extraits des fleurs de *Cynara cardunculus* (Silva, Malcata, 2005).

Les valeurs d'activité enzymatique de *A. precatorius*, *B. enneandra* et de *Z. mauritiana* sont supérieures à celles obtenues sur la peau de mangue (17,2 U/mg, Amid et al., 2011) et la pulpe de papaye (10 U/mg, Galindo-Estrella et al., 2009), mais inférieures à 76 U/ml, valeur trouvée par Balqis et Rosma (2011) sur les extraits protéolytiques purifiés des feuilles de *Artocarpus integer*.

Les extraits bruts des trois plantes analysées pourraient contenir : des protéases aspartiques (pH 2,5-3,5), des métallo-protéases (pH 7) et des protéases à sérine (7,5-9) (González-Rábade et al., 2011) (Figure 6). Ces résultats corroborent ceux trouvés par Michail et al. (2006) qui ont confirmé la présence des protéases aspartiques et des métallo-protéases dans les extraits bruts de *Salmo gairdnerii* à la suite de l'observation de deux pics sur la courbe de l'activité enzymatique en fonction du pH, respectivement dans les zones de pH acides et alcalins. Les protéases aspartiques, à sérine et les métallo-protéases ont été identifiées dans les feuilles de tomate (Rodrigo et al., 1989), de haricot (Antao, Malcata, 2005) et de soja (Graham et al., 1991).

## 5. Conclusion

Les résultats du plan composite centré révèlent les valeurs optimales du temps, du pH et du ratio masse/volume pour l'extraction des protéines enzymatiques de *A. precatorius* (37 min ; 4,60 ; 2,24 % : g/ml) *B. enneandra* (35 min ; 4,49 ; 2,24 %) et de *Z. mauritiana* (7 min ; 4,49 ; 1,84 %). Les teneurs en protéines extraites correspondantes sont de 3,70 ; 2,83 et 2,59 mg /g de matière sèche respectivement. La mesure de l'activité enzymatique de ces extraits bruts donne les valeurs de 34,60 ; 32,08 et 37,24 U/ml respectivement. Les courbes d'activité enzymatique en fonction du pH indiquent la possibilité d'existence des protéases aspartiques, à sérine et les métallo-protéases dans les extraits bruts des trois plantes analysées.

## Remerciements

Ce travail a été réalisé grâce au financement de la Coopération française au Cameroun.

## Bibliographie

- Amid M., Tan C.P., Mirhosseini H., Aziz N.A., Ling T.C., 2011. Optimisation of serine protease extraction from mango peels (*Mangifera indica* Cv. Chokanan). *Food Chemistry*, **124**, 666-671.
- Antao C.M., Malcata F.X., 2005. Plant serine proteases : biochemical, physiological and molecular features. *Plant Physiology and Biochemistry*, **43**, 637-50.
- Balqis Siti Z., Rosma A., 2011. *Artocarpus integer* leaf protease: Purification and characterisation. *Food Chemistry*, **129**, 1523-1529.
- Bas D., Boyaci I.H., 2007. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, **78**, 836-845.
- Cattaneo T.M.P., Nigro F., Messina G., Giangiacomo R., 1994. Effect of an enzymatic complex from pineapple pulp on the primary clotting phase. *Milchwissenschaft*, **49**, 269-273.
- Dalgaard P., Jorgensen L.V., 1998. Predicted and observed growth of *Listeria monocytogenes* in seafood challenge tests and in naturally contaminated cold smoked salmon. *International Journal of Food Microbiology*, **40**, 105-115.

- El-Beltagy A.E., El-Adaway T.A., Rahma E.H., El-Bedawey A.A., 2004. Purification and characterization of an acidic protease from the viscera of boliti fish (*Tilapia nilotica*). *Food Chemistry*, **86**, 33-39.
- Galindo-Estrella T. et al., 2009. Proteolytic activity in enzymatic extracts from *Carica papaya* L. cv. Maradol harvest by-products. *Process Biochemistry*, **44**, 77-82.
- Glew R.H. et al., 2010. The amino acid, mineral and fatty acid content of three species of human plants foods in Cameroon. *Food*, **4**(1), 1-6.
- González-Rábade N., Badillo-Corona J.A., Aranda Barradas J.S., Oliver-Salvador M.C., 2011. Production of plant proteases *in vivo* and *in vitro*. A review. *Biotechnology Advances*, **29**, 983-996.
- Graham J.S., Xiong J., Gillikin J.W., 1991. Purification and developmental analysis of metallo endoproteinase from the leaves of *Glycine max*. *Plant Physiology*, **97**, 786-792.
- Guiama V.D., Libouga D.G., Ngah E., Mbofung C.M., 2010. Optimization of conditions for milk-clotting enzymes extraction from *Solanum aethiopicum* seeds through response surface methodology. *Annals of Biological Research*, **1**(3), 13-23.
- Helrich K. (ed.), 1990. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. AOAC (Association of Official Analytical Chemists), Arlington, VA, USA, 963-964.
- Joglekar A.M., May A.T., 1987. Product excellence through design of experiment. *Cereal Foods World*, **32**, 857-886.
- Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R.J., 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, **193**(2), 265-275.
- Michail M., Vasiliadou M., Zotos A., 2006. Partial purification and comparison of precipitation techniques of proteolytic from trout (*Salmo gairdnerii*) heads. *Food Chemistry*, **97**, 50-55.
- Rodrigo I., Vera P., Conejero V., 1989. Degradation of tomato pathogenesis – related proteins by an endogenous aspartyl endoproteinas. *European Journal of Biochemistry*, **184**, 663-669.
- Silva S.V., Malcata F.X., 2005. Studies pertaining to coagulant and proteolytic activities of plant proteases from *Cynara cardunculus*. *Food Chemistry*, **89**, 19-26.
- Thanatcha R., Pranee A., 2011. Extraction and characterization of mucilage in *Ziziphus mauritiana* Lam. *International Food Research Journal*, **18**, 201-212.





## Activités sur la composition alimentaire : une approche sous-estimée de valorisation de l'agro-biodiversité en faveur d'une nutrition saine en Afrique centrale

Kouebou C.P., IRAD, Garoua, Cameroun ; PRASAC, Ndjamena, Tchad ; CAFOODS,  
E-mail : kchristiant@yahoo.fr  
Nzali S., PRASAC, Ndjamena, Tchad ; CAFOODS ; FASA, Université de Dchang, Cameroun,  
E-mail : nzaliserge@hotmail.com

### Résumé

Dans le contexte actuel d'insuffisance de ressources et particulièrement celles consacrées à la recherche agricole, les activités sur la composition alimentaire constituent une approche innovante de valorisation de l'agro-biodiversité en faveur d'une nutrition saine en Afrique. Ce papier fait le point de ces activités initiées pour le compte de CAFOODS (*Central Africa Food Data System*) et coordonné par la FAO. La démarche adoptée s'inspire des principes directeurs pour la production et l'utilisation des bases de données alimentaires d'INFOODS/FAO (*International Network of Food Data Systems*). À cet effet, l'examen, la collecte et la compilation des informations pertinentes ont été entamés par 12 experts venant de 10 institutions du Cameroun et du Tchad. L'outil de compilation d'INFOODS a servi de base à cet archivage qui révèle la prépondérance des denrées amylacées (céréales, racines et tubercules) et des plats cuisinés parmi les 14 groupes alimentaires répertoriés. Les potentialités nutritionnelles de la biodiversité restent peu explorées particulièrement celle d'origine animale. Des inégalités sont observées entre les ressources amylacées dominées par les ignames au détriment des riz, manioc et taro pourtant davantage consommés. De même, malgré une biodiversité fruitière remarquable et dominée par les espèces améliorées, les études ont majoritairement ciblé les fruits forestiers. Ces données font l'objet d'une communication grandissante lors de conférences nationales (7) et internationales (9). Elles ont servi à la publication de directives pour le contrôle des données alimentaires et à des articles dans des produits d'information de premier rang en matière d'alimentation et d'agriculture. Depuis lors il a été formulé des projets incluant les activités sur la composition alimentaire. En 2013, une Étude Régionale (Benin, Cameroun, Nigeria et Mali) de l'Alimentation Totale a été acceptée pour financement (US\$ 1 083 981) par *The Standards and Trade Development Facility*. Deux autres propositions nationales ont été présélectionnées par le Ministère Français des Affaires Étrangères pour financement via les mécanismes de Contrat de Désendettement-Développement. Ces activités CAFOODS concourent à la disponibilité d'informations alimentaires et nutritionnelles fiables en Afrique (Centrale).

### Food Composition Activities: an underestimated approach of agro-biodiversity valorization for healthy nutrition in (Central) Africa

In the present context marked by lack of resources and particularly those dedicated to agricultural research, food composition activities (FCA) constitute an innovative approach of agro-biodiversity valorization for healthy nutrition in Africa. This article summarizes FCA initiated by CAFOODS (*Central Africa Food Data System*) and coordinated by FAO. These FCA are based on the food data generation and use principles recommended by INFOODS/FAO (*International Network of Food Data Systems*). To that end, data collection and compilation started by a dozen of experts from 10 research and development institutions in Cameroon and Chad. The INFOODS compilation tool was used for this purpose, revealing the importance of starchy foods (cereals, root and tubers) and cooked dishes among the 14 food groups registered. Yet biodiversity nutritional potential remains unexplored particularly for animal food resources. Differences were observed among starchy foods dominated with yams to the detriment of rice, cassava and cocoyam more consumed. Despite remarkable fruit diversity with improved varieties, typical forest fruits are more targeted in composition studies. These data are increasingly communicated through national (7) and international

(9) conferences. These have served for the publication of FAO/INFOODS Guidelines for Checking Food Data and articles in top rank information products in the area of food and agriculture. Since then, project proposals are formulated including FCA. In 2013 a Regional (Benin, Cameroon, Nigeria and Mali) Total Diet Study was accepted for funding (USD1083981) by The Standards and Trade Development Facility of the World Trade Organization. Two other national proposals were selected by the France Development Agency and Cameroon Ministry of Scientific Research and Innovation for financial support through the C2D (*Contrat de Désendettement-Développement*) initiative. These CAFOODS activities contribute to the availability of reliable food and nutritional data in (Central) Africa.

## 1. Introduction

Une nutrition saine est reconnue comme un facteur clé de développement, notamment au travers des huit objectifs internationaux de développement. Ce facteur est particulièrement déterminant en Afrique subsaharienne, où sévissent diverses maladies de carences, résultant des rations alimentaires déficitaires en plusieurs nutriments. L'évolution de la malnutrition chez les enfants d'âge préscolaire reflète la détérioration de la situation observée dans de nombreux pays subsahariens dans lesquels le taux de pauvreté a augmenté, le sida a des effets dévastateurs, les conflits persistent et les gains de productivité agricole, facteurs clés de la croissance économique restent hypothétiques (SCN, 2004 ; FAO, 2008). En plus des disponibilités énergétiques alimentaires, une préoccupation grandissante concerne l'adéquation des ingérés en micronutriments, en particulier les vitamines, les minéraux et les acides gras essentiels. Bien que les statistiques soient parcellaires, les estimations disponibles relatives aux déficiences en micronutriments sont alarmantes. Plus de la moitié des femmes enceintes et des enfants d'âge scolaire souffrent d'anémie par carence en fer. Entre 100 et 250 millions d'enfants d'âge préscolaire souffrent d'une déficience sévère en vitamine A et 740 millions de personnes sont affectées par un goitre. Par ailleurs, il devient de plus en plus évident que d'autres carences en micronutriments (zinc, acide folique, calcium...) doivent être prises en considération. Les causes de la malnutrition étant multifactorielles par nature, les professionnels de l'alimentation et de la nutrition s'accordent de plus en plus sur la nécessité d'un changement des comportements et pratiques alimentaires, et notamment de combiner supplémentation, fortification et modifications des régimes alimentaires (Kennedy et al., 2003).

En Afrique subsaharienne, ces voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles sont de plus en plus reconnues comme efficaces et pérennes pour prévenir la malnutrition et les maladies de carences en micronutriments. Ces approches visent à augmenter les ingérés en nutriments en augmentant les quantités d'aliments consommés et/ou en améliorant leurs teneurs et biodisponibilité en nutriments. Elles comprennent un ensemble de stratégies complémentaires qui concernent les secteurs des productions agro-sylvo-pastorales, des technologies post-récolte et alimentaire et de l'éducation/communication. Elles consistent à accroître et à diversifier la production d'aliments et les ingérés alimentaires, à réduire les pertes post-récolte des aliments périssables, à optimiser les procédés de préservation, de transformation et de commercialisation d'une grande biodiversité alimentaire riche en nutriments, à promouvoir la fortification dans des petites unités de production, à améliorer les teneurs en micronutriments bio-disponibles des produits agricoles ou des régimes et à développer l'éducation nutritionnelle. De nombreux avantages sont attribués aux voies alimentaires par rapport aux approches prenant en compte les nutriments pris individuellement. Elles sont considérées comme durables dans la mesure où elles permettent aux individus et aux ménages de maîtriser la qualité de leur régime alimentaire en effectuant des choix éclairés aux niveaux de la production et de la consommation d'aliments riches en nutriments. Elles sont séduisantes dans la mesure où elles permettent de prendre en compte simultanément plusieurs types de carences, en particulier en énergie, protéines et micronutriments (Brouwer et al., 2004).

Bien que le potentiel des voies alimentaires ait été démontré à travers plusieurs expériences satisfaisantes, leur application et leur maintien à plus large échelle dans la zone subsaharienne restent en partie limités par le manque de collaboration et de prise de conscience des décideurs (des pays ou ensembles concernés et des donateurs). Cette situation se traduit par l'insuffisance de ressources (humaines et financières) consacrées à de telles thématiques à l'exemple des activités sur la composition alimentaire, une approche innovante, accessible et pourtant sous-estimée de l'exploitation de l'agro-biodiversité alimentaire en faveur d'une nutrition saine en Afrique (Centrale) (Greenfield, Southgate, 2007 ; FAO/INFOODS, 2012).

Le présent article fait le point sur les activités relatives à la composition alimentaire initiées au Cameroun pour le compte du système de données des aliments d'Afrique Centrale (*Central Africa Food Data System* – CAFOODS), un des centres sous-régionaux d'AFROFOODS (*Africa Network of Food Data System*). Elles ont été initiées suite à la formation depuis 2005 d'une dizaine d'experts invités à participer aux cours internationaux sur l'élaboration des bases de données sur la composition des aliments (BDCA) coordonnés par la FAO ([www.fao.org/infoods](http://www.fao.org/infoods)). Après la présentation succincte du contexte et de la démarche méthodologique mise en œuvre par l'équipe de CAFOODS en réseau avec AFROFOODS et INFOODS (*International Network of Food Data Systems*), nous insistons sur la contribution de ces activités à la disponibilité des informations alimentaires et nutritionnelles en faveur d'une meilleure valorisation de l'agro-biodiversité d'Afrique (Centrale). À partir des priorités d'actions dégagées pour CAFOODS, cette contribution se concrétise à travers des acquis majeurs que sont les leçons de la compilation des données alimentaires, la communication/publication des résultats et la formulation accrue de projets de R&D dont certains ont obtenu le soutien financier de donateurs internationaux.

## 2. Contexte des activités au sein de CAFOODS

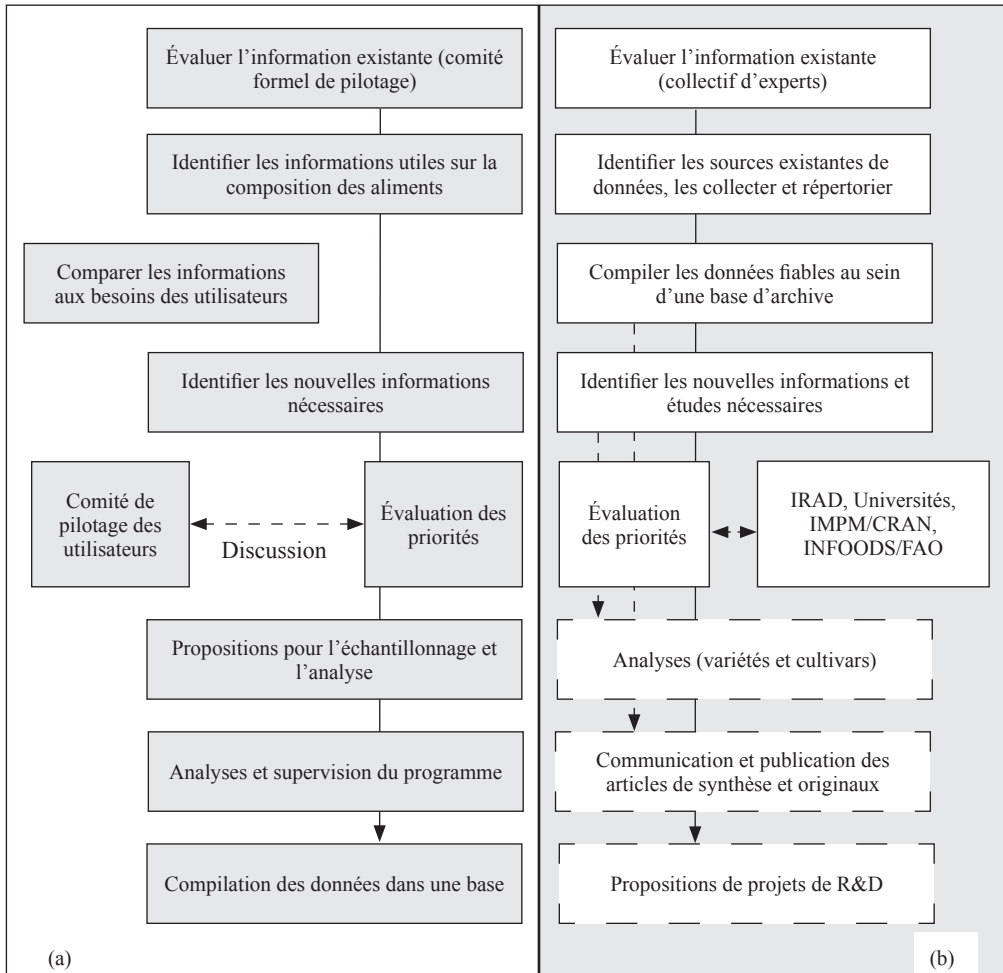
Établir un réseau mondial de banques de données compatibles sur la composition des aliments est la raison d'être du programme d'INFOODS ; le réseau international des systèmes de données sur l'alimentation qui fonctionne sous les auspices de la FAO et de l'Université des Nations Unies. Il a pour but de stimuler et de coordonner les efforts visant à améliorer la qualité et la disponibilité des données d'analyse alimentaire dans le monde. Il envisage également de s'assurer que quiconque, en tout lieu, puisse obtenir des données adéquates et fiables sur la composition des aliments (Greenfield, Southgate, 2007). Pour la région Afrique, INFOODS est coordonnée par AFROFOODS et pour la sous-région Afrique Centrale par CAFOODS. La table de composition pour usage en Afrique (FAO/USDA, 1968) demeurant à ce jour la seule incluant des aliments de cette sous-région, INFOODS fournit le cadre administratif pour le développement des normes et principes pour la collecte, la compilation et l'établissement des rapports des données de composition alimentaire. Le maintien de ces normes est assuré par le développement et l'administration des formations régionales sur la production et la gestion des données, et aussi bien des cours sur l'échantillonnage et les méthodes analytiques.

Les activités sur la composition alimentaire présentées dans ce papier ont émergé à la suite du *Premier cours universitaire Ouest et Centre Africain sur la composition alimentaire et la biodiversité*, tenu du 13 au 24 avril 2009 au Bénin, à l'initiative de *Bioversity International*, de la FAO, d'INFOODS, de l'OOAS (Organisation Ouest-Africaine de la Santé) et en collaboration avec le CORAF/WECARD. Cette formation destinée aux experts francophones visait (i) un renforcement des activités sur la composition alimentaire en Afrique de l'Ouest et du Centre se focalisant sur les systèmes alimentaires locaux, (ii) une amélioration de la disponibilité, de la qualité et la fiabilité des données sur la composition alimentaire, (iii) la maîtrise des processus de génération de données et de compilation des bases de données sur la composition alimentaire et (iv) le développement des capacités d'amélioration de l'utilisation

des bases de données sur la composition alimentaire pour toutes les catégories d'utilisateurs. Ce cours a permis la formation de 12 experts supplémentaires appartenant à la zone subsaharienne francophone dont 5 en activité en Afrique centrale (4 au Cameroun et 1 au Tchad). Ceci a porté à 9 le total d'experts appartenant à CAFOODS dans le domaine de la production et du management des bases de données numériques sur la composition alimentaire. C'est à travers cet effectif d'experts (davantage nombreux avec 1 expert supplémentaire formé en 2010 à Pretoria) qu'un renforcement des activités sur la composition alimentaire a été possible en Afrique centrale.

### 3. Approche méthodologique

La démarche adoptée au sein de CAFOODS s'inspire essentiellement des principes directeurs pour la production et l'utilisation des données alimentaires de Greenfield et Southgate (2007). Ces fondements ont été revisités lors du *Premier cours universitaire sur la composition alimentaire et la biodiversité*. Ils couvrent les grands domaines suivants en vue du lancement et de l'organisation d'un programme sur la composition des aliments : sélection des aliments et nutriments, procédures d'échantillonnage des espèces animales et variétés végétales, choix et validation des méthodes analytiques pertinentes, principe et mode d'expression des données nutritionnelles, phases de production d'une base de données alimentaire tenant compte de la biodiversité... Seulement, en vue de la production et actualisation d'une base de données sur les aliments, aucun programme officiel et soutenu financièrement n'existe à ce jour en Afrique Centrale et le Cameroun n'en fait pas exception. En l'absence d'appui formel et conséquent, l'approche méthodologique classique (Figure 1a) est mise en œuvre avec quelques adaptations. En effet, selon Greenfield et Southgate (2007), la décision de s'engager dans l'élaboration ou la révision d'une base de données peut être prise par un gouvernement, un institut, un département de recherche, des groupes d'utilisateurs professionnels ou plus rarement un chercheur individuel. Le lancement d'un tel programme nécessite la création d'un comité de pilotage et la consultation des utilisateurs constitués de compilateurs, analystes, opérateurs de traitement des données... En l'absence d'un tel comité dans la sous-région, le collectif d'experts formés appartenant à 7 institutions du Cameroun et du Tchad, a tenu des consultations nationales (Achu et al., 2009 ; Yadang et al., 2010) en vue d'initier un cadre de concertation, de définir les priorités d'actions pour CAFOODS et adopter la démarche en vigueur (Figure 1b). Les étapes d'un programme idéal de BDCA requièrent un financement en vue d'assurer la coordination du travail, la collaboration et les procédures de communication entre les parties compétentes. En Afrique (centrale), malgré la rareté et l'inconsistance des financements, des informations sur la composition des aliments et la biodiversité existent même dans les pays ne disposant pas de table ou BDCA officielles. Ainsi, les étapes préliminaires de la démarche classique proposée par Greenfield et Southgate (2007), ont été mises en œuvre à savoir l'examen, la collecte et la compilation des informations existantes. Cette analyse situationnelle a permis une meilleure lisibilité des avancées et des lacunes sur cette thématique puis quelques priorités ont été relevées.



**Figure 1.** Étapes d'un programme idéal de BDCA (a) et approche en vigueur en Afrique centrale (b).

### 3. Résultats

#### 3.1. Priorités identifiées pour CAFOODS

De ces activités de compilations ont pu être dégagées les priorités suivantes pour CAFOODS en accord avec la collaboration internationale (INFOODS) : (i) donner au collectif d'experts plus de visibilité au sein des institutions représentées; (ii) identifier les centres de production de données et élaborer un répertoire des sources de données disponibles et de l'agro-biodiversité (iii) élaborer une base d'archive et produire une base de données compilées de 300 aliments et (iv) soumettre des propositions de projet en vue de l'analyse et la compilation des données alimentaires en tenant compte de la riche biodiversité de la sous-région. Ces actions sont menées par un groupe opérationnel constitué, d'une part d'organisations basées au Cameroun (IRAD, à l'IMPM/CRAN, au Centre Pasteur du Cameroun, au CARBAP et à 4 Universités d'état), au Tchad (Initiative Développement) et, d'autre part, d'experts internationaux (INFOODS/FAO, WAHO, Bioversity International).

### 3.2. Base de données d'archive initiée

Les activités se sont développées à la suite de la compilation des documents disponibles dans les institutions ayant de l'expertise en sciences alimentaires et nutrition. La revue (continue) de l'ensemble des sources de données dominées par les publications primaires (articles originaux) a permis la création d'une base d'archive développée à l'aide de l'outil de compilation des données proposé par la FAO/INFOODS (INFOODS, 2010). Il s'agit d'un simple système de management des données sur la composition des aliments (Charrondière, Burlingame, 2011). Conçu à l'aide du logiciel de calcul Excel (Microsoft Office), cet outil utilise les standards et les directives internationalement reconnus à l'exemple des identifiants des composants d'INFOODS, la séparation des phases de l'élaboration des bases de données, et les directives d'interchangeabilité d'INFOODS (2004). C'est le tout premier support de compilation libre d'accès et permettant une compilation, documentation et gestion standardisée des données alimentaires qui peut être façonnée pour des besoins individuels. En conformité avec les exigences de fiabilité et de qualité des données (Greenfield, Southgate, 2007), n'ont été retenues que les études qui identifient clairement les ressources alimentaires, décrivent un échantillonnage convenable (en termes de procédure de collecte et taille de l'échantillon) et démontrent une méthode officielle de génération des données (par voie analytique et/ou par calcul).

### 3.3. Leçons de la compilation des données alimentaires disponibles au Cameroun

#### 3.3.1. Archives dominées par les ressources amylacées et les plats cuisinés

La première revue des informations existantes a porté sur la production scientifique (documents imprimés et électroniques) du CRAN (Centre de Recherche en Alimentation et Nutrition) depuis 1979. En effet, c'est à cette principale institution gouvernementale en charge de la recherche en alimentation et en nutrition au Cameroun que revient officiellement le mandat d'élaborer les BDCA. Des activités y ont été conduites dans cette optique mais elles n'ont à notre connaissance abouti à aucune BDCA. À travers cette revue, il a été question d'apprécier la typologie des données et des systèmes alimentaires étudiés ainsi que leur progression depuis 1979. Elle a abouti à un répertoire de 342 références scientifiques consignées dans les deux rapports des consultations organisées au Cameroun (Achu et al., 2009, Yadang et al., 2010). La figure 2 présente les proportions et la diversité dans les catégories de documents constituant ces références collectées (Kouebou et al., 2009). Ce répertoire contient les quatre sources de données définies par Greenfield et Southgate (2007). Les *publications primaires* (articles de revue à comité de lecture) apparaissent majoritaires, suivies des *rapports non publiés* (rapports d'activités). Une part non négligeable de cette littérature contient des *rapports analytiques* (textes parus dans les actes de conférence, chapitres d'ouvrages, mémoires et thèses) alors que les *publications secondaires* sont largement minoritaires (articles de revue et ouvrages).

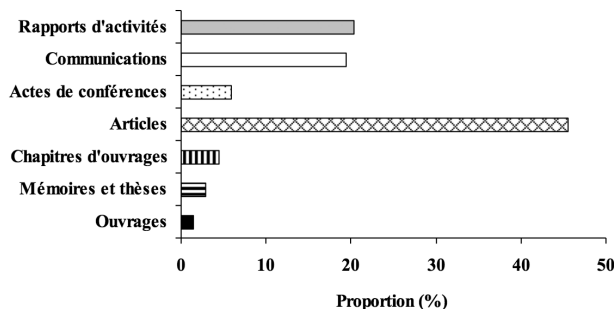


Figure 2. Proportion des divers types de documents constitutifs des sources de données (Kouebou et al., 2009).



La figure 3 présente les tendances de ces diverses sources de données de 1979 à 2009. Elle révèle qu'après un recul durant la période 1990-1999, la publication d'articles a connu une remontée durant la décennie 2000-2009 contrairement à la quasi-totalité des autres sources de données. Cette évolution marquée par une baisse suivie d'une hausse de la parution des articles pourrait correspondre à deux phases caractéristiques de la progression de la coopération à la recherche au Cameroun, notamment celle couronnée par l'obtention du doctorat. En effet, les rédactions de thèses ( $n = 9$ ) entre 1979 et 1991, ont été ensuite quasiment nulles avant de reprendre durant la dernière décennie ( $n = 4$ ). La nécessité de publier un article avant la défense des thèses de doctorat/PhD et le besoin de valoriser les résultats de thèses sous forme d'articles à des fins professionnelles (changement en grade, primes...) ont probablement été des facteurs stimulant la préférence et la production d'articles dans des journaux à comité de lecture au détriment des autres catégories de documents scientifiques (Kouebou et al., 2009).

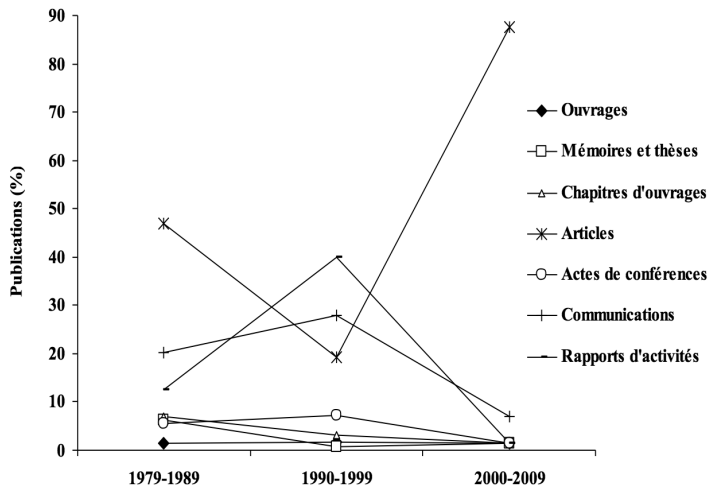


Figure 3. Évolution des publications en fonction des décennies (Kouebou et al., 2009).

La collection des sources de données disponibles sur les aliments d'Afrique Centrale, s'est ensuite enrichie de la littérature scientifique en provenance des autres centres (institutionnels et académiques) de génération des données sur la valeur nutritionnelle et la biodiversité. Ainsi aux 500 documents référencés en provenance du Cameroun, se sont ajoutées à ce jour près de 400 sources de données supplémentaires portant sur les études alimentaires et nutritionnelles des ressources cultivées en Afrique subsaharienne et/ou présentes en Afrique centrale. Ceci a conduit à l'archivage de 14 groupes d'aliments présentés dans le tableau 1 pour lesquels ont été sélectionnés plus de 1 000 items contenant au moins un composant (eau, macronutriments et/ou micronutriments) requis dans une base de données d'archive. Seulement un nombre considérable d'items ( $n \approx 300$ ) a été exclu car portant sur les produits d'expérimentation (pour des recherches académiques ou professionnelles) et pas véritablement consommés ou commercialisés par les populations. Cet archivage révèle la prépondérance des études sur les racines et tubercules et leurs dérivés ( $n = 220$ ). Le second rang semble occupé par les analyses des plats traditionnels (184 items) étudiés pour 17 nutriments dans chacune des 4 catégories (repas, sauce, complément, snack) couramment consommées au Cameroun (Djoulde et al., 2012; Kouebou et al., 2013). Cette revue des plats traditionnels fait ressortir de grandes disparités dans le contenu des études et dans leur distribution agro-écologique. En effet, les macronutriments sont les plus analysés, suivis des éléments minéraux avec une large domination du fer, zinc et magnésium. Les vitamines ne sont que rarement analysées notamment les vitamines A et E dans 32 plats (donnée non illustrée).



**Tableau 1.** Répartition des groupes d'aliments étudiés pour leurs valeurs nutritives et en cours d'archivage au Cameroun.

Groupes d'aliments	Items (n)
01. Céréales et dérivés	107
02. Racines, tubercules et dérivés	220
03. Légumineuses et dérivés	57
04. Légumes et dérivés	33
05. Fruits et dérivés	30
06. Noix, grains et dérivés	20
07. Viande, volaille et dérivés	6
08. Œufs et dérivés	1
09. Poissons et dérivés	3
10. Matières grasses et dérivés	35
11. Boissons	9
12. Épices et dérivés	25
13. Plats traditionnels	184
14. Autres	3
Total	733

Le tableau 2 montre la variation dans les teneurs en nutriments des 117 recettes traditionnelles du Cameroun publiées par Kouebou et al. (2013). Des 117 plats analysés, un certain nombre ne l'ont pas été pour plusieurs minéraux, notamment le fer (n = 25 études), le zinc (n = 27), le cuivre (n = 66), le manganèse (n = 65) ou le sélénium (n = 82). Au plan géographique, la grande majorité de ces recettes analysées proviennent des zones équatoriale et méridionale (112 plats) plutôt que de la zone soudano-sahélienne (72 plats) pourtant la plus impactée par la sécheresse et l'insécurité alimentaire (Tanya, Bah, 2009). Les céréales et dérivés occupent le troisième rang (n = 107) des groupes alimentaires les plus analysés contrairement aux viandes (n = 6), aux œufs (n = 1) et aux poissons et dérivés (n = 3) qui sont les moins représentés dans le classement actuel. Ces éléments confirment l'importance des denrées amylacées mais surtout des ressources végétales. Ils révèlent également l'infime représentativité des études sur les ressources animales malgré les atouts indéniables au plan nutritionnel et leur biodiversité non moins remarquable.

**Tableau 2.** Variation dans les teneurs\* en nutriments de 117 plats traditionnels du Cameroun.

Nutriments	Teneur		
	Minimale	Moyenne	Maximale
<b>Macronutriments</b>			
Eau (g)	29,8	72,1	95,9
Énergie (kcal)	12	147,5	403
Protéines (g)	0,1	4,39	20,9
Lipides totaux (g)	0,05	8,87	35
Glucides (g)	0,4	12,27	40,32
Fibres (g)	0	2,09	8,5
Cendres (g)	0,09	1,33	4,44
<b>Minéraux</b>			
Magnésium (mg)	1	39	158
Calcium (mg)	1	41	182
Phosphore (mg)	0	71	267
Potassium (mg)	5	212	502
Sodium (mg)	2	27	150
Fer (mg)	0	1,60	7,29
Zinc (mg)	0	0,84	2,96
Cuivre (mg)	0,02	0,112	0,39
Manganèse (mg)	0	0,342	1,40
Sélénium (mcg)	0	2,60	19,50

\*pour 100 g de portion comestible. Source : Kouebou et al. (2013).

### 3.3.2. Biodiversité carencée en étude nutritionnelle

La biodiversité à fort potentiel agro-économique intéresse les acteurs du développement mais elle ne représente qu'une infime partie des ressources agro-sylvo-pastorales disponibles et consommées. En effet, avec 90 % des écosystèmes africains représentés au Cameroun, cette Afrique en miniature est dotée d'une diversité agro-écologique et socioculturelle incomparable avec près de 280 groupes ethnolinguistiques (DSCN, 2002). La biodiversité africaine s'y retrouve à travers les régions sahélienne, soudanienne, forestière, maritime, côtière et montagneuse. La richesse faunique est en effet considérable avec près de 409 espèces de mammifères, 183 espèces de reptiles, 849 espèces d'oiseaux et 190 espèces d'amphibiens (IMF, 2003). À notre connaissance, il est difficile de connaître celles rentrant dans l'alimentation des populations. En effet, il n'existe qu'une documentation très limitée sur quelques ressources majeures (bœuf, porc, poisson, chèvre...) et les données nutritionnelles sur les aliments d'origine animale sont éparées voire inconnues pour la plupart des espèces et races. Ceci est confirmé par le tableau 3 montrant au sein des 342 publications au CRAN entre 1979 et 2009, une très large domination des ressources végétales et notamment les racines et tubercules (Kouebou et al., 2009).

**Tableau 3.** Évolution des publications (en nombre) au CRAN en fonction des groupes d'aliments.

Groupes d'aliments	Décennies de parution			Total*
	1979-1989	1990-1999	2000-2009	
Racines et tubercules	33	24	16	73
Igname	22	8	12	42
Taro, pomme, manioc	9	0	0	9
Manioc	2	10	0	12
Macabo	0	0	4	4
Céréales	7	6	0	13
Légumineuses	11	7	5	23
Aliments infantiles	3	9	3	15
Poissons	4	2	0	6
Aliments traditionnels	4	9	6	19
Total	62	51	30	143

\* Le total n'est pas 342 publications au CRAN car toutes les études ne portent pas sur l'analyse des aliments.

Source : Kouebou et al., 2009.

Entre 1999 et 2012 les productions domestiques croissantes de cacao (120 000 à 250 000 de tonnes), fruits et légumes (845 000 de tonnes), maïs (810 000 à 1 800 000 de tonnes), sorgho (900 000 à 1,4 million de tonnes), riz (80 000 à 180 000 de tonnes), pomme de terre (160 000 à 210 000 de tonnes), manioc (2 millions à 4,2 millions de tonnes) et plantain (1,5 million à 3,5 millions de tonnes) confirment également l'agro-biodiversité alimentaire du Cameroun (IMF, 2003 ; MINADER, 2013). Seulement à l'exemple de la banane dominée sur le marché mondial par le type *Cavendish*, des dizaines voire des centaines de variétés de ces ressources alimentaires sont cultivées pour les marchés ruraux, urbains ou pour la consommation domestique (INIBAP/IPGRI, 2006). Le principal institut de recherche agricole d'Afrique Centrale (IRAD, Cameroun) conserve à travers ses programmes une collection de plus de 3 500 variétés végétales, cultivars, espèces et races animales alors qu'une infime portion (moins de 40) de variétés semencières a été sélectionnée et mise à la disposition des acteurs du développement agricole (IRAD, 2010). Au Mali, 60 % des variétés locales de sorgho collectées en 1978 n'ont pas été retrouvées en 1999 (Kouressy, 2002). Une telle situation suscite le besoin de développer une BDCA illustrée de photo, dans la perspective de

conservation et caractérisation de cette biodiversité alimentaire pérennisée depuis plusieurs générations rurales.

### 3.3.3. Disparité entre les ressources amylacées et prépondérance des espèces améliorées

L'archivage en cours révèle au sein des denrées amylacées (n = 326 items) étudiées pour leurs valeurs nutritives, l'importance des racines et tubercules (9 genres taxonomiques) par rapport aux céréales (5 genres). Au sein du premier groupe les ressources analysées se classent ainsi : *Dioscorea* spp. (n = 120 items), *Manihot* spp. (n = 71), *Colocassia* spp. (n = 12), *Xanthosoma* spp. (n = 5), *Coleus* spp. (n = 3), *Ipomea batatas* (n = 3), *Solanum* spp. (n = 3), *Tacca leontopetaloides* et (n = 2) *Solenestemon* spp. (n = 1). Au sein des céréales la hiérarchie est la suivante : *Zea mays* (n = 85 items), *Sorghum bicolor* (n = 14), *Oryza* spp. (n = 6), *Eleusine coracana* (n = 1) et *Triticum* spp. (n = 1). Ainsi les denrées amylacées les plus produites (manioc, maïs et sorgho) ou les plus consommées (riz et blé) ne sont pas les plus étudiées pour leurs apports nutritionnels. Ceci est une situation paradoxale lorsqu'on sait que l'économie du Cameroun est à vocation agricole et que les populations connaissent une insécurité alimentaire grandissante avec ses corollaires en termes notamment de malnutritions pluri-carencielles. Dans les racines et tubercules, les teneurs en eau et énergie des produits frais (55-75 g d'eau et 90-175 kcal pour 100 g de portion comestible) et préparés (29,8-88,9 g d'eau et 46-394 kcal/100 g) montrent que leurs apports en nutriments observent également une grande disparité. Il en va de même pour les céréales (données non indiquées). Pour ces ressources amylacées, les macronutriments et les minéraux (notamment le calcium, le fer, le potassium et le zinc) sont les composants majoritairement analysés à l'opposé des vitamines, acides aminés et acides gras essentiels. Par ailleurs, les informations archivées montrent que les espèces améliorées ou introduites sont les plus explorées par rapport aux essences amylacées paysannes. C'est surtout valable pour les denrées d'envergure nationale et sous-régionale (igname, manioc, maïs et sorgho) probablement influencé par la collaboration internationale en matière de recherche et développement agricole. En effet, les projets de recherche prévoient très souvent un volet d'étude nutritionnelle des nouvelles variétés à fort potentiel agronomique. Cette observation contraste avec celle de la documentation sur les fruits.

### 3.3.4. Primauté des fruits forestiers au détriment des variétés sélectionnées

En collection, toutes stations de recherche agricole confondues, l'IRAD possède près de 700 variétés et cultivars fruitiers (agrumes, mangues, cacao, café, palmier, papaye, banane, plantain avocat, ananas, goyave...). Cette biodiversité est inégalement distribuée mais remarquablement fournie à l'exemple du seul conservatoire fruitier de la zone soudano-sahélienne dans lequel se trouvent 17 espèces d'agrumes (122 variétés) et 71 variétés de mangues (dominées par Davis Haden, Smith, Amelie, Irwin, Julie, Julie Kassowa, Kent et Zill) (Kouebou et al., 2012). À ce jour, aucune étude nutritionnelle n'a été consacrée à cette biodiversité en dehors de l'étude de l'aptitude au séchage de quatre variétés de mangues (Kameni et al., 2003). Eyog et al. (2006) décrivent l'existence d'une centaine de fruitiers forestiers comestibles au Cameroun dont l'archivage fait ressortir des données nutritionnelles pour une trentaine d'espèces notamment *Adansonia digitata*, *Aframomum latifolium*, *Ananas comosus*, *Annona* spp., *Balanites aegyptiaca*, *Borassus aethiopum*, *Canarium* spp., *Carica papaya*, *Carissa edulis*, *Citrus* spp., *Landolphia owariensis*, *Manguifera indica*, *Musa* spp., *Olex subscorpiodea*, *Parkia biglobosa*, *Persea Americana*, *Phoenix reclinata*, *Psidium guajava*, *Santaloides afzelii*, *Sclerocleria birrea*, *Syzygium* spp., *Tamarindus indica*, *Trichoscypha acuminata*, *Vitellaria paradoxa*, *Vitex* spp., *Ximenia americana*, *Ziziphus mauritania*. Leurs teneurs en eau, cendres et vitamine C sont comprises entre 15,9 et 90,2 g/100 g ; 0,02 et 4,3 g/100 g et 0,07 et 247 mg/100 g de portion comestible respectivement. Ainsi, tel qu'attesté par FAO/INFOODS/WAHO/Bioversity International (2012), ces ressources "sauvages" observent une variabilité prononcée en terme de teneur en nutriments. Compte tenu de leur apport en micronutriments et autres composés bioactifs ces ressources devraient faire l'objet

d'une investigation soutenue afin d'informer les utilisateurs et consommateurs sur leur potentialités.

## 4. Discussion

Contrairement aux autres continents, la malnutrition progresse en Afrique subsaharienne (ACC/SCN-WHO, 2000 ; Marek et Ndiaye, 2002) et la prévalence de la sous-alimentation est considérable (Figure 4) notamment en Afrique centrale où elle est deux fois plus importante qu'en Afrique de l'Ouest (FAO, 2008). La relation nutrition-infection est connue et une bonne nutrition est essentielle pour être et rester en bonne santé, tout en aidant l'organisme à se protéger des infections (Dupin et al., 1984 ; FAO, 2003). Dans ce sens, l'information nutritionnelle pourrait apporter aux ménages et agents de soins à domicile autant qu'aux pourvoyeurs de services (cliniques de santé, pairs éducateurs, nutritionnistes, diététiciens, formateurs...), les teneurs et nutriments pour une alimentation équilibrée des groupes vulnérables (enfants, femmes enceintes, malades...). Il est virtuellement impossible de conduire des analyses nutritionnelles sur toutes les recettes et aliments. Le calcul nutritionnel sur la base du poids des ingrédients d'une recette est une méthode rapide, économique de plus en plus employée (Bognar, Piekarski, 2000 ; Sharma et al., 2007 ; Greenfield, Southgate, 2007). Elle requiert cependant une base de données sur la composition alimentaire fiable, actuellement inexistante en Afrique Centrale (Sharma et al., 2007 ; Greenfield, Southgate, 2007).

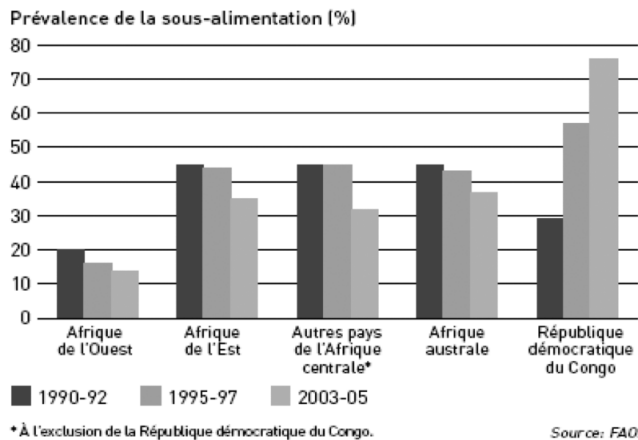


Figure 4. Prévalence de la sous-alimentation en régions subsahariennes (FAO, 2008).

Une BDCA servirait par ailleurs dans la mise en œuvre des programmes d'aide alimentaire, d'enrichissement nutritionnel, de supplémentation ou de fortification car une fois la population cible ou vulnérable identifiée, se pose la question du choix du ou des véhicule(s) alimentaire(s) à enrichir, des rations à distribuer ou à fortifier. Il est judicieux de disposer de données de composition pour les aliments susceptibles d'être acceptés puis enrichis ou fortifiés pour les groupes les plus à risques comme les enfants et les femmes enceintes ou non. L'absence de véhicule alimentaire consommé de manière régulière peut conduire à l'abandon ou l'échec d'un programme d'enrichissement nutritionnel notamment face aux carences en micronutriments. En effet dans les pays en développement tel le Cameroun, elles représentent un problème de santé publique aux conséquences physiologiques et économiques non négligeables. Les principales carences identifiées concernent les carences en iode, fer et vitamine A, mais d'autres carences comme les carences en zinc, vitamine B12, riboflavine et

acide folique coexistent probablement même si leur existence et importance n'ont pas encore été bien étudiées (Berger, 2004).

## 5. Conclusion

En vue d'accroître la disponibilité des données alimentaires, des actions prioritaires ont été identifiées pour le compte de CAFOODS. Le présent article tire les leçons de la compilation des données en cours à cet effet. Une typologie de la documentation et des systèmes alimentaires étudiés a pu être dégagée. La base d'archive élaborée semble dominée par les ressources amylacées (racine, tubercules et céréales) et les plats cuisinés en provenance du sud-Cameroun. Par ailleurs, le répertoire de la biodiversité édifié révèle une carence en étude nutritionnelle et notamment une inégale distribution des ressources amylacées considérées. En effet il y a une forte prépondérance des espèces et variétés d'ignames de manioc, de maïs et de sorgho. À l'opposé cette documentation met en évidence la primauté des fruits forestiers au détriment des variétés sélectionnées. Cette analyse situationnelle justifie le développement de projets incluant la composition alimentaire tandis qu'autant que possible sont saisies les diverses opportunités de communication notamment sur les avancées de CAFOODS.

Sur le plan de l'information et de la communication, les activités CAFOODS initiées au Cameroun ont contribué à la désignation à la coordination de CAFOODS d'un membre du collectif d'experts formés en 2009 ([www.fao.org/infoods](http://www.fao.org/infoods)). Depuis lors, l'équipe a participé à plusieurs conférences nationales (n = 7) et internationales (n = 9) tenues dans 6 pays : Benin, Cameroun, Indonésie, Nigeria, Sénégal et Royaume-Uni. Ainsi sont disponibles une vingtaine de documents (power points et posters) ayant servi de supports de communications. Par ailleurs, un des acquis majeurs en termes d'information scientifique réside dans la récente parution des directives de contrôle des données de la composition alimentaire avant la publication d'une table/base de données pour les utilisateurs (FAO/INFOODS, 2012). Cet ouvrage collectif édité par la FAO a été conjointement préparé par des experts internationaux incluant ceux de CAFOODS. En outre, l'article original sur 67 plats traditionnels provenant de la zone septentrionale (Djoule et al., 2012) a été fraîchement complété par l'article de revue sur les 117 plats des zones équatoriale et côtière du Cameroun (Kouebou et al., 2013).

Depuis 2011, il a été formulé une dizaine de projets de recherche et développement incluant les activités sur la composition alimentaire. En 2012, quatre propositions ont été présélectionnées et depuis 2013 un projet d'Étude Régionale de l'Alimentation Totale en Afrique subsaharienne (Benin, Cameroun, Nigeria, et Mali) a été accepté pour financement (US\$1 083 981) par *The Standards and Trade Development Facility* (STDF) ([www.standardsfacility.org](http://www.standardsfacility.org)). Deux autres propositions «C2D/promoteur» (\$ 100 000) et «C2D/légumineuses» (\$ 360 000) ont été présélectionnées par le Ministère Camerounais de la Recherche et le Ministère Français des Affaires Étrangères pour un financement via les mécanismes de Contrat de Désendettement-Développement (C2D). Par ailleurs, des incitations à l'estimation de la valeur nutritionnelle de l'agro-biodiversité ont permis un début de caractérisation des riz NERICA (8 cultivars et 6 produits dérivés) et des sojas (7 variétés en 2011 et 2012) diffusés à travers les programmes de l'IRAD avec un partenariat international (AfricaRice) et national (SODECOTON). Globalement, cette stratégie rejoint les recommandations de Brouwer et al. (2004). En effet selon ces derniers, pour connaître les véritables potentialités des voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles, les expériences disponibles et les leçons qui en sont tirées ainsi que les conditions nécessaires à leur application à plus large échelle doivent être examinées de manière critique et faire l'objet d'une diffusion conséquente.

## Bibliographie

- ACC/SCN, 2000. *Fourth Report on the World Nutrition Situation*. United Nations Administrative Committee on Coordination Sub-Committee on Nutrition in collaboration with IFPRI, Geneva. 140 p.
- Achu M., Kamda A., Ponka R., Kouebou C.P., 2009. *Consultation sur la composition alimentaire et la biodiversité au Cameroun*. Non publié
- Berger J., 2004. Enrichissement des aliments en micronutriments : élément d'une stratégie intégrée de lutte contre les carences en micronutriments, en particulier en fer, dans les pays en développement. In : *Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles en Afrique de l'Ouest : le rôle des technologues alimentaires et des nutritionnistes. Actes du 2<sup>ème</sup> atelier international, Ouagadougou, 23-28 Novembre 2003*. Presses Universitaires de Ouagadougou, Ouagadougou/IRD, Paris.
- Bognar A., Piekarski J., 2000. Guidelines for recipe information and calculation of nutrient composition of prepared foods (dishes). *Journal of Food Composition and Analysis*, **13**(4), 391-410.
- Brouwer I., Traoré A.S., Trèche S., 2004. *Voies alimentaires d'amélioration des situations nutritionnelles en Afrique de l'Ouest : le rôle des technologues alimentaires et des nutritionnistes. Actes du 2<sup>ème</sup> atelier international, Ouagadougou, 23-28 Novembre 2003*. Presses Universitaires de Ouagadougou/IRD, Paris, 850 p. [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers11-08/010036321.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-08/010036321.pdf)
- Charrondière U.R., Burlingame B., 2011. Report on the FAO/INFOODS Compilation Tool: A simple system to manage food composition data. *Journal of Food Composition and Analysis*, **24**(4-5), 711-715.
- Djoule D.R., Essia-Ngang J.J., Etoa F.X., 2012. Nutritional properties of "Bush Meals" from North Cameroon's Biodiversity. *Advances in Applied Science Research*, **3**(3), 1482-1493.
- DSCN, 2002. *Conditions de vie des ménages et profil de pauvreté à l'Extrême-Nord Cameroun en 2001*. Direction de la Statistique et de la Comptabilité Nationale - PREPAFEN, Composante n°1 Suivi-Évaluation de la pauvreté, Yaoundé. 19 p.
- Dupin H., Trémolières J., Serville Y., Jacquot R., 1984. Alimentation et santé. In : Trémolières J., Serville Y., Jacquot R., Dupin H. *Manuel d'alimentation humaine. T. 1. Les bases de l'alimentation*. 10<sup>e</sup> éd. ESF, Paris, p. 58-64.
- Eyog Matig O., Ndoye O., Kengue J., Awono A. (eds), 2006. *Les fruitiers forestiers comestibles du Cameroun*. IPGRI, Rome, 204 p.
- FAO/USDA, 1968. *Food composition table for use in Africa*. FAO, Rome. <http://www.fao.org/docrep/003/X6877E/X6877E00.htm>
- FAO, 2003. *Vivre au mieux avec le VIH/SIDA. Un manuel sur les soins et le soutien nutritionnel à l'usage des personnes vivants avec le VIH/SIDA*. FAO, Rome, 57 p.
- FAO, 2008. *L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde. Prix élevés des denrées alimentaires et sécurité alimentaire – menaces et perspectives*. FAO, Rome, 44 p.
- FAO/INFOODS, 2012. *FAO/INFOODS Guidelines for Checking Food Composition Data prior to the Publication of a User Table/Database-Version 1.0*. FAO, Rome.
- FAO/INFOODS/WAHO/Bioversity International, 2012. *West African Food Composition Table – Table de composition des aliments d'Afrique de l'Ouest*. FAO, Rome. <http://www.fao.org/docrep/015/i2698b/i2698b00.pdf>
- Greenfield H., Southgate D.A.T., 2007. *Données sur la composition des aliments – Production, Gestion et utilisation*. 2<sup>nd</sup> éd. INFOODS/FAO, Rome, 308 p. <http://www.fao.org/docrep/010/y4705f/y4705f00.htm>
- IMF, 2003. *Cameroon: Poverty Reduction Strategy Paper*. International Monetary Fund, Washington DC., IMF Country Report No. 03/249, 135 p.
- INFOODS, 2004. *Report of the technical Workshop on Standards for food Composition data interchange. Rome, 19-22 January 2004*. <ftp://ftp.fao.org/es/esn/infoods/interchange.pdf>
- INFOODS, 2010. *Compilation Tool version 1.2.1 and User Guidelines*. <http://www.fao.org/infoods/>



infoods/software-tools/en/

- INIBAP/IPGRI, 2006. *Adding value to bananas: the results of a study and workshop on the contribution of Musa processing businesses to rural development. Final report to the Rockefeller Foundation*. IPGRI, Rome, 19 p. [http://www.common-fund.org/fileadmin/user\\_upload/Projects/FISGB/FISGB\\_09\\_FT/Final\\_Report\\_FISGB\\_09\\_FT.pdf](http://www.common-fund.org/fileadmin/user_upload/Projects/FISGB/FISGB_09_FT/Final_Report_FISGB_09_FT.pdf)
- INS, 2014. *Annuaire statistique du Cameroun. Recueil des séries d'informations statistiques sur les activités économiques, sociales, politiques et culturelles du pays jusqu'en 2013*. Institut National de la Statistique. Yaoundé. [www.stat.cm/downloads/annuaire/2013/Annuaire\\_statistique\\_2013.pdf](http://www.stat.cm/downloads/annuaire/2013/Annuaire_statistique_2013.pdf)
- IRAD, 2010. *Semences améliorées des principales spéculations en appui à la campagne agro-sylvo-pastorale 2010*. IRAD, Yaoundé, 28 p.
- Kameni A., Mbofung C.M.F., Ngnamtam Z., Doassem J., Hamadou L., 2003. Aptitude au séchage de quelques variétés de mangue cultivées au Cameroun : Amélie, Zill, Irwin et Horé Wandou. In : Jamin J.Y., Seiny Boukar L., Floret C. (eds). *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun*. Cirad, Montpellier, France.
- Kennedy G., Nantel G., Shetty P., 2003. The scourge of hidden hunger: global dimensions of micronutrient deficiencies. *Food, Nutrition and Agriculture*, **32**, 8-16.
- Kouebou C.P. et al., 2009. *Recherche en alimentation et nutrition au Cameroun : tendances d'une analyse rétrospective, Communication at the AFROFOODS Sub-regional Data Centre Coordinator's Meeting 9<sup>th</sup> - 11<sup>th</sup> December, 2009 Dakar (Senegal)*.
- Kouebou C. et al., 2012. *Biodiversité et valeur alimentaire des fruits au Cameroun : observations préliminaires dans le Département de la Bénoué (Région du Nord). Oral communication at the 19<sup>th</sup> Annual Conference of the Cameroon Biosciences Society, Nov 30-Dec 1, 2012, Yaoundé, Cameroon*.
- Kouebou C.P. et al., 2013. A review of composition studies of Cameroon traditional dishes: Macronutrients and minerals. *Food Chemistry*, **140**(3), 483-494.
- Kouressy M., 2002. *Étude de la durée du cycle des sorghos locaux du Mali. Comparaison avec la durée des saisons de pluies. Évolution sur les 20 dernières années*. Mémoire DEA. Université de Bamako, Mali.
- Marek T., Ndiaye B., 2002. À l'aube du XXI<sup>e</sup> siècle, nous avons tous les outils pour diminuer la malnutrition en Afrique subsaharienne, le ferons-nous? *Cahiers d'études et de recherches francophones/Santé*, **12**(1), 107-111.
- SCN, 2004. *Nutrition for improved development outcomes. 5<sup>th</sup> Report on the world nutrition situation*. United Nations System, Standing Committee on Nutrition, Geneva. <http://www.unscn.org/layout/modules/resources/files/rwns5.pdf>
- Sharma S. et al., 2007. Nutritional composition of commonly consumed composite dishes from the Central Province of Cameroon. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, **58**(6), 475-485.
- Tanya V.N., Bah D.A., 2009. *Exploring opportunities to reduce food insecurity in the Sudano-sahelian zone of Cameroon*. The Cameroon Academy of Science, Yaounde [Section 1].
- Yadang G., Kamda A., Acayanka E., Achu M., Kouebou C.P., 2010. *Deuxième Consultation sur la composition alimentaire et la biodiversité au Cameroun, Rapport final*. Yaoundé, Cameroun.



## Prévalence et antibiorésistance de bactéries entériques à potentialité pathogène dans l'alimentation de rue à Abidjan

Dadie Adjéhi Thomas, Kouassi Athanase Kra, Koua Toussaint Atobla, Koffi René Ahua, Dje Marcellin Koffi, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire,  
E-mail : thomasdadie@yahoo.fr  
Karou Alfred Tago, Université Felix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

### Résumé

L'impact des intoxications liées à des pathogènes entériques véhiculés par les produits de l'alimentation de rue est inconnu. L'objectif de l'étude était de déterminer la prévalence et l'antibiorésistance de bactéries entériques potentiellement pathogènes dans des produits proposés aux consommateurs, le plus souvent dans la rue. *E. coli* a été recherché dans 912 échantillons de lait cru, de produits laitiers fermentés, de viandes hachées. Au cours d'infections diarrhéiques à *Salmonella* consécutives à l'alimentation, une identification des souches et une enquête sur les derniers repas a permis de suspecter les aliments facteurs de risque. Les espèces du genre *Clostridium* ont été détectées dans 395 viandes cuites au barbecue localement appelées «choucouya». *Yersinia* a été recherché dans 460 viandes de porc. Les souches isolées et identifiées ont été caractérisées par antibiotype. La prévalence de *E. coli* portant des facteurs de virulence dans les aliments est de 4%. Les souches de *Salmonella* associées à des diarrhées consécutives à la consommation de produits alimentaires étaient de 75, dont 39 d'origine aviaire. Le risque de contamination est plus élevé par consommation d'œufs (30,5%) et de viande (25%). Les prévalences de *Clostridium* et de *Yersinia* dans la viande de bœuf et dans la viande de porc sont respectivement de 26,3% et 2%. Les souches ont présenté des résistances aux aminopénicillines pour *E. coli*, les espèces du genre *Salmonella* et *Yersinia*. Les espèces du genre *Clostridium* présentent des résistances à la fois aux aminopénicillines et aux aminosides. Les souches recherchées ayant toutes été détectées, montrant ainsi un risque infectieux évident malgré leur faible prévalence et compte tenu de l'implication avérée des espèces concernées dans des toxi-infections alimentaires et la résistance observée à certaines familles d'antibiotiques, un mécanisme de surveillance visant leur maîtrise est indispensable.

### Prevalence and antibiotic resistance of enteric bacteria potentially pathogenous in street food of Abidjan

The impact of poisoning associated with enteric pathogens carried by street food is unknown. The objective of the study was to determine the prevalence and antimicrobial resistance of potentially pathogenic enteric bacteria in products for more available to consumers most often on the street. *E. coli* was investigated in 912 samples of raw milk, fermented milk products, minced meat. During diarrheal infections due to *Salmonella* contaminated food, a strain identification and investigation of the last meals served suspect food risk factors. Species of the genus *Clostridium* were detected in 395 barbecued locally called «choucouya» meat. *Yersinia* was investigated in 460 pork meat. The isolated strains were identified and characterized by antibiotic susceptibility. The prevalence of *E. coli* carrying virulence factors in foods is 4%. *Salmonella* strains associated with diarrhea subsequent to the consumption of food products were 75 with 39 of avian origin. The risk of contamination is higher by consumption of eggs (30.5%) and meat (25%). The prevalence of *Clostridium* and *Yersinia* in beef and pork are respectively 26.3% and 2%. Strains showed resistance to aminopenicillins for *E. coli*, species of the genus *Yersinia* and *Salmonella*, and the genus *Clostridium* have resistance to both aminopenicillins and aminoglycosides. All strains were detected, showing an obvious risk of infection despite their low prevalence and given the proven involvement of the species involved in food-borne infections and observed some families of antibiotic resistance, a monitoring mechanism for their control is essential.

# 1. Introduction

La situation relative à la sécurité alimentaire telle que décrite par des rapports officiels, n'est pas encore reluisante, à la dimension des efforts engagés par les organismes et autorités à charge de ce secteur (Lashley, 2006 ; OMS, 2013). La preuve est que le tiers de la population mondiale souffre de maladies d'origine alimentaire et que chaque année, environ 1,5 milliard de cas de diarrhée sont dus essentiellement aux aliments de mauvaise qualité avec 2,2 millions de décès (OMS, 2013). Dans la série des agents étiologiques des diarrhées, les bactéries entériques jouent un rôle important (CDC, 2009 ; Scott et al., 2010). Les facteurs de maintien du risque sont liés à la diversité des sérovars, à l'émergence de variants d'une virulence particulière et à l'interaction avec un environnement insalubre, propice à leur développement, comme c'est parfois le cas en Afrique (OMS, 2002). Il s'agit entre autre des entérobactéries notamment *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli*, *Yersinia*, auxquelles sont attribuées les maladies des « mains sales » ou encore d'agents provoquant des entérites nécrosantes du genre *Clostridium* (Bourgault et al., 2006 ; Schmidt et al., 2007).

En effet, *Salmonella* est connu pour être la première cause de toxi-infection alimentaire (TIA) dans le monde (Panisset et al., 2003). De nombreux sérovars parmi plus de 2 500 répertoriés ont été impliqués précédemment dans des épidémies (Haeghebaert et al., 2002). Les *E. coli* pathogènes sont fréquemment cités lors de TIA avec une émergence de variants précédemment inconnus. Des sérotypes dits du « top six » (Frank et al., 2011) ou d'autres comme celui (O104:H4) ayant occasionné la récente épidémie survenue en Europe, sont responsables d'affections rénales mortelles de type Syndrome Hémolytique Urémique (SHU) (Frank et al., 2011 ; Mariani-Kurkdjian, 2011). Les espèces du genre *Clostridium* possèdent une propriété de sporulation qui leur confère une résistance au traitement thermique et leur survie dans des produits insuffisamment cuits (Schmidt et al., 2007). Les espèces évoquées sont le plus souvent véhiculées par les produits carnés, le lait et les produits laitiers et les légumes qui composent pour une large part, l'alimentation des populations. *Yersinia* est peu connu et recherché à cause de l'exigence particulière de sa culture (Arnold et al., 2004). Cependant, le réservoir principal est le porc (*Sus scrofa*) (Schmidt et al., 2007), dont la consommation s'est accrue en Côte d'Ivoire ces dernières années.

Le rôle de l'environnement de production et de vente des aliments est d'autant plus important pour garantir une alimentation saine et équilibrée, que l'OMS a développé le concept de « marché-sécurité » ou « marché-santé » et élaboré un guide pour la promotion de l'hygiène sur les marchés alimentaires (OMS, 2007). Mais l'objectif est loin d'être atteint, particulièrement en Côte d'Ivoire où le développement du secteur informel a pour conséquence la mise sur le marché, et parfois dans des conditions hygiéniquement inappropriées, de lait, de produits laitiers, de viandes bovines ou porcines hachées ou cuites au barbecue, de légumes, de décoctions ou sirops à base de gingembre ou d'inflorescences de *Hibiscus sabdarifa*. Les lieux de vente alimentaire informels se développent aux abords des établissements scolaires, de soins, de culte, échappant à toute norme, règlement et au contrôle municipal. Certains lieux de vente même agréés, présentent un personnel manquant de formation à la manipulation hygiénique, la protection et la conservation adéquate des produits alimentaires.

De plus, la récente situation de conflit qui a occasionné de nombreux déplacements de personnes, a créé une promiscuité potentielle, dans une population où la vulnérabilité suscitée par la pandémie du VIH/SIDA et le paludisme ont augmenté la proportion de personnes à risque (O'Keefe, Wood, 1996). Le fait que l'impact des intoxications liées à des pathogènes entériques véhiculés par ces produits soit inconnu et que le tableau environnemental soit médiocre au plan sanitaire, a justifié depuis 2005, une orientation de quelques travaux de recherche sur des espèces entériques à potentialité pathogène dans l'alimentation de rue, en ciblant *Salmonella*, *E. coli* pathogènes, *Clostridium* et *Yersinia*. L'étude était d'autant plus

urgente que des travaux précédents (Karou et al., 2001 ; Garin et al., 2002) s'étaient limités à la quantification de flore indigène, sans indication de l'éventuel risque pour des bactéries entériques exprimant une pathogénicité à faible dose et qui sont souvent présents en nombre réduit dans les produits alimentaires. De plus, dans le cas du genre *Yersinia*, aucune étude précédente n'avait mis en évidence des espèces du genre en Côte d'Ivoire avant 2008.

L'étude fait le point de la prévalence et de l'antibiorésistance de bactéries entériques potentiellement pathogènes dans des produits pour la plupart consommés hors domicile et relevant de l'alimentation de rue de 2005 à 2012. Des souches de *Escherichia coli* possédant des facteurs de virulence, des espèces de *Salmonella*, de *Yersinia* et de *Clostridium* ont été ciblées.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Échantillonnage

*E. coli* a été recherché dans 912 échantillons dont 207 de lait cru, 333 de produits laitiers fermentés, 154 de viande hachée. Le lait cru ou lait non pasteurisé a été prélevé à l'abattoir de Port-Bouet (Sud-Est d'Abidjan), de Bingerville (Est d'Abidjan) et sur un site du trottoir longeant le chemin de fer à Abobo (Nord d'Abidjan). Les communes de prélèvement ont été choisies au hasard par tirage au sort sans remise pour les produits laitiers et la viande. Les sites de prélèvement ont été retenus selon la disponibilité du produit et selon qu'ils sont situés dans un environnement de vente accessible à plusieurs consommateurs ; soit à proximité d'établissements scolaires, de lieux de culte ou autres lieux de vente publique.

Au cours d'infections diarrhéiques consécutives à l'alimentation, une identification des souches et des renseignements sur les derniers repas consommés avant l'infection ont permis de suspecter les aliments facteurs de risque. Au total, 13 régimes alimentaires ont été les plus fréquemment cités. L'enquête n'a pas pris en compte l'eau et d'autres ingrédients consommés au cours du repas. *Salmonella* a également été recherchée dans 152 échantillons de viscères aviaires, notamment le gésier et l'intestin de poulets, destinés à l'approvisionnement de vendeurs de rue. Les espèces du genre *Clostridium* ont été détectées dans 395 viandes cuites au barbecue localement appelées «*choucouya*», consommées généralement dans la rue ou au cours des mariages, baptêmes et autres grandes cérémonies mobilisant plusieurs personnes. Les échantillons ont été prélevés sous leurs différentes présentations, notamment brochettes, steaks, viande cuite en sauce. *Yersinia* a été recherchée dans 460 échantillons de viande de porc (*Sus scrofa*), composés de 200 langues, de 150 amygdales et de 110 intestins de porc prélevés de 407 porcs à l'abattoir de la SIVAC. Le prélèvement est effectué par écouvillonnage.

### 2.2. Numération de coliformes et identification de *E. coli*

La numération des *E. coli* s'est effectuée sur milieu Rapid *E. coli* 2 (Bio-Rad) 24 h à 42 °C. L'identification de *E. coli* à partir de colonies caractéristiques obtenues sur milieu Rapid *E. coli* a été réalisée selon la méthode classique de bactériologie pour l'identification des Enterobacteriaceae (Le Minor, Richard, 1993). Un contrôle de l'identité des souches a été effectué par l'utilisation de galerie API 20E (Bio Mérieux).

### 2.3. Détection de facteurs de virulence des *E. coli*

La détection des facteurs (gènes) de virulence des souches s'est effectuée par réaction de polymérisation en chaîne (PCR) avec une matrice d'ADN résultant d'un choc thermique, 10 min à 100 °C, de suspension bactérienne d'une culture de 24 h. Les réactions d'amplification se sont

effectuées selon les méthodes précédentes (Frankel et al., 1989 ; Pass et al., 2000 ; Nguyen et al., 2008), en utilisant un thermocycleur Perkin Elmer 9700 (Applied Biosystems, USA).

## 2.4. Numération des ASR et identification d'espèces du genre *Clostridium*

Le dénombrement des formes sporulées et végétatives a été réalisé par comptage manuel des colonies noires caractéristiques de *Clostridium* sulfito-réducteurs dans les tubes selon le référentiel NF 08-056. L'identification des souches est effectuée selon Guiraud (2003).

## 2.5. Identification et caractérisation de *Salmonella*

*Salmonella* a été isolée sur milieu DCL et SS et les colonies caractéristiques ont été identifiées en utilisant la galerie API 20E (BioMérieux, France). Les souches identifiées ont été l'objet de sérotypage selon le schéma de Kauffmann White à l'aide d'antisérums agglutinants (Bio-Rad, Steenvoorde, France).

## 2.6. Identification et caractérisation de *Yersinia*

Les prélèvements pour l'identification de *Yersinia* se sont effectués par écouvillonnage et les écouvillons sont traités en 4 étapes : un pré-enrichissement dans un bouillon trypticase soja avec novobiocine (mTSB-Merck, Darmstadt, Allemagne) ; un enrichissement sélectif à froid (Fredriksson-Ahomaa, Korkeala, 2003) ; un traitement alcalin sélectif selon Aulisio et al. (1980), et un isolement sélectif sur gélose MacConkey (Bio-Rad, Marnes-La-Coquette, France) additionnée de sorbitol (SMAC). L'identification des souches a été réalisée par test de galeries API 20E (BioMérieux, Marcy l'Étoile, France) et API 50CH (BioMérieux, Marcy l'Étoile, France) selon la norme ISO 10273 : 2003.

## 2.7. Antibiotypage

Un antibiogramme a été réalisé sur l'ensemble des souches par la méthode de diffusion en milieu gélosé, Muller Hinton (BioMérieux, Marcy l'Étoile, France).

Les disques d'antibiotiques (Oxoïd, France) testés étaient des représentants de différents groupes d'antibiotiques employés de façon classique sur les espèces appartenant à la famille des Enterobacteriaceae et du genre *Clostridium*. Il s'agit notamment de Amoxicilline-Acide clavulanique (AMC), Cefalotine (30 µg), Cefoxitine (FOX), (30 µg), Céftriaxime (CAZ), Gentamycine (GM), Tétracycline (TE), Acide nalidixique (NA), Chloramphenicol (C), Cotrimoxazole (SXT). L'analyse et l'interprétation des phénotypes de résistances sont effectuées selon les normes du Comité Antibiogramme de la Société Française de Microbiologie (CA-SFM, 2012).

## 3. Résultats

### 3.1. Prévalence de bactéries entériques dans les aliments

Les bactéries entériques à potentialité pathogène recherchées, ont toutes été isolées des différents types de produits alimentaires analysés. La prévalence de *E. coli* présentant des facteurs de virulence dans 3 178 produits alimentaires est de 7,4 % (Tableau 1). Des espèces pathogènes du genre *Clostridium* sont présentes dans un quart (26,3 %) des viandes cuites au barbecue. Dans la viande de porc, *Yersinia* a été détecté dans 2 % des échantillons prélevés ; il en est de même de *Salmonella* dans un ordre de prévalence correspondant environ au double de celui de *Yersinia*.

**Tableau 1.** Prévalence dans les aliments de bactéries potentiellement pathogènes.

Souches	Aliments (taille échantillon)	Souches détectées (effectif)	Prévalence (%)
<i>E. coli</i> (FV+)	912	37	4,0
<i>Clostridium</i>	395	104	26,3
<i>Salmonella</i>	1 107	75	4,6
<i>Yersinia</i>	460	9	2,0
Total	3 178	235	7,4

### 3.2. Prévalence des souches selon le type d'aliments

Au total, sur 912 échantillons alimentaires analysés, 612 souches de *E. coli* ont été détectées, parmi lesquelles 37 possèdent des facteurs de virulence. La majorité (83,7%) des souches portant des facteurs de virulence a été isolée de lait cru et de produits laitiers, avec une prévalence respective de 6,3 et de 6,5 % (Tableau 2). La prévalence de ces souches dans la viande hachée est de 3 %.

**Tableau 2.** Prévalence dans les aliments de *E. coli* présentant des facteurs de virulence.

Nature des échantillons	Effectif de l'échantillon	<i>E. coli</i> FV (+)	Prévalence FV (+) (%)
Lait cru	207	13	6,3
Lait	154	10	6,5
Yaourt	153	4	2,6
Crème glacée	180	4	2,2
Viande hachée	218	6	3,0
Total	912	37	4,0

SFV : Souches hébergeant des facteurs de virulence; *E. coli* FV(+) : *E. coli* hébergeant des facteurs de virulence.

### 3.3. *E. coli* isolées selon le type de production de l'aliment

Les souches de *E. coli* présentant des gènes de virulence, ont été détectées en majorité (78 %) dans les aliments produits de façon artisanale (Tableau 3). Dans l'ordre d'importance décroissante on distingue le lait cru (35 %), le lait fermenté (27 %) et la viande hachée (16 %).

**Tableau 3.** Souches de *E. coli* FV (+) détectées selon le mode de production des aliments.

Type d'échantillon	Artisanal	Industriel	Total Nb (%)
Lait cru	13	0	13 (37)
Lait fermenté	10	0	10 (27)
Viande hachée	6	0	6 (6)
Yaourt		4	4 (11)
Crème	0	4	4 (11)
Total	29	8	37 (100)

*E. coli* FV (+) : *E. coli* hébergeant des facteurs de virulence.

### 3.4. Prévalence de *Clostridium* dans les différentes présentations de viande bovine

La viande de bœuf cuite au barbecue est présentée sous les formes de brochettes de steak ou de viande de bœuf cuite en sauce. La majorité des souches (78 %) de *Clostridium* sont isolées de brochettes cuites au barbecue, dont l'ensemble des souches de *Clostridium perfringens* et 71,6 % de *Clostridium difficile* (Tableau 4). Si *Clostridium difficile* est véhiculée dans une moindre mesure par les steaks (9 %) et la viande cuite en sauce (12 %), *Clostridium perfringens* n'a pas été isolée de ces produits.

**Tableau 4.** Prévalence d'espèces de *Clostridium* dans les différentes préparations de viande bovine.

	Taille de l'échantillon	<i>Clostridium perfringens</i>	Prévalence (%)	<i>Clostridium difficile</i>	Prévalence (%)
Brochettes cuites	178	23	13	58	32,5
Steaks cuits	90	0	0	8	9,0
Viandes-sauce (au pochet)	127	0	0	15	12,0
Total	395	23	13	81	20,5

### 3.5. Prévalence des souches de *Yersinia* selon les parties de la viande de porc prélevées

L'ensemble des souches de *Yersinia intermedia* ont été isolées d'amygdales avec une prévalence de 4 %. Par contre *Yersinia enterocolitica* a été isolée de langues et d'intestins de porc et aucune souche n'a été détectée dans les amygdales (Tableau 5).

**Tableau 5.** Prévalence des souches de *Yersinia* dans les échantillons de porc.

	Taille de l'échantillon	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Prévalence (%)	<i>Yersinia intermedia</i>	Prévalence (%)
Langues	200	2	1	0	0
Amygdales	150	0	0	6	4
Intestins	110	1	1	0	0
Total	460	3	0,65	6	1,3

### 3.6. Prévalence des souches de *Salmonella* dans les régimes alimentaires et les viscères aviaires

Les renseignements obtenus sur les derniers régimes alimentaires à la suite desquels se sont déclenchées des diarrhées à *Salmonella* permettent de suspecter préférentiellement, les régimes composés d'œufs (30,5 %) et de poisson (25 %). De façon générale, les données recueillies montrent que la probabilité de diarrhée à *Salmonella* consécutive à la consommation des aliments composant les régimes locaux est de 2,6 %. Dans les viscères aviaires, la prévalence de *Salmonella* est de 25,6 % (Tableau 6).

**Tableau 6.** Prévalence de *Salmonella* dans les régimes alimentaires suspectés et dans les viscères aviaires.

Régime/ denrée alimentaire	Nombre d'échantillons	<i>Salmonella</i> isolé	Prévalence (%)
Attiéké-poisson	161	5	3,3
Attiéké-viande	91	2	2,2
Attiéké-œuf	116	6	5,1
Alloko-poisson	178	3	1,1
Alloko-viande	102	2	1,0
Alloko-œuf	111	5	5,5
Riz-poisson	92	0	0,0
Riz-viande	112	2	1,7
Foutou-viande	52	0	0,0
Foutou-poisson	46	1	4,5
Sandwich	112	2	1,8
Mixte	54	3	5,5
Produits laitiers	72	4	5,1
Autres	65	1	1,5
Viscères aviaires	152	39	25,6
Total	1 516	75	5,0

### 3.7. Taux de conformité aux critères normatifs des aliments de rue

L'évaluation de la conformité des échantillons sur la base de la quantification des souches de *E. coli* et des anaérobies sulfito-réducteurs montre qu'un peu moins de la moitié (48,7%) des échantillons présente une non-conformité, au regard des critères normatifs. Il n'y a que dans le cas du yaourt où plus de la moitié du nombre d'échantillons est conforme (Tableau 7). Pour tous les autres produits, le pourcentage de non-conformité est supérieur ou égal à 65%. Pour le lait cru, il est de 65%. Il n'y a pas eu de cas de non-conformité au niveau des steaks et des viandes de bœuf cuites en sauce relativement à la présence d'anaérobies sulfito-réducteurs (ASR).

**Tableau 7.** Taux de non-conformité des produits alimentaires aux critères normatifs.

Souches dénombrées	Aliments	Nb échantillons	Aliments non conformes	% de non conformité
<i>E. coli</i>	Viande Hachée	218	152	70
	Lait Cru	207	155	75
	Lait Fermenté	154	102	66
	Crème Glacée	180	117	65
	Yaourt	153	63	41
Anaérobies sulfito-réducteurs	Brochettes	178	48	27
	Steaks	90	0	0
	Viandes en sauce	127	0	0
Total		1 307	637	48,7

### 3.8. Fréquence des pathotypes de *E. coli*

Parmi les pathovars de *E. coli* détectés, il y a une prédominance de *E. coli* enteroagréatifs (ECEA) avec un taux de 35%. Les *E. coli* entéropathogènes (ECEP) et entéropathogènes atypiques (ATEC) représentent 28,6% (Tableau 8). Les souches productrices de shiga-toxine (STEC) et *E. coli* entéroinvasif (ECEI) sont présents en proportion réduite (4%).



**Tableau 8.** Fréquence des pathovars de *E. coli* détectés.

Source	ECEP	ATEC	ECET	ECEI	STEC	ECEA	ECNF	DEAC	Total nb (%)
Lait cru	2	4	3	0	1	7	0	0	17 (18)
Lait fermenté	1	2	2	0	0	2	1	2	10 (12)
Yaourt	0	0	0	0	0	2	0	0	2 (3)
Crème glacée	1	1	0	0	0	1	0	1	4 (6,1)
Viande hachée	1	0	1	0	0	1	1	0	4 (4,6)
Total	5	7	6	0	1	13	2	3	37
%	13,5	19	16	0	2,7	35	5,4	8	100

ECEP : *E. coli* entéropathogènes, ATEC : *E. coli* entéropathogènes atypiques, ECET : *E. coli* entérotoxigènes, ECEA : *E. coli* entéroaggrégatifs, ECEH : *E. coli* entérohémorragiques, ECEI : *E. coli* entéroinvasif, DEAC : *E. coli* d'adhésion diffuse, ECNF : *E. coli* producteurs de facteur nécrosant ; STEC : *E. coli* producteurs de shiga-toxines.

## 2.9. Fréquence des sérovar de *Salmonella*

Le sérotype le plus fréquemment isolé est *Salmonella Typhimurium* (22,6%). En importance, il est suivi de *S. Enteritidis* (16%). Les deux sérovars sont isolés à la fois des viscaires aviaires et de régimes alimentaires à l'origine de diarrhée à *Salmonella* chez l'homme. Les résultats (Tableau 9) révèlent des souches spécifiques de l'écosystème aviaire, dont les plus fréquentes sont *S. Hadar* (14,6%), *S. Gallinarum* et *S. Ependorf* (5,3%) et celles qui sont transmissibles à l'homme via les aliments notamment, *S. Senftenberg*, *S. Heidelberg* et *S. Dublin*.

**Tableau 9.** Fréquence des sérovars de *Salmonella*.

Origine	Sérovars de <i>Salmonella</i>	Souche	Fréquence (%)
Alimentaire (isolées chez l'homme)	<i>S. Enteritidis</i>	7	9,3
	<i>S. Dublin</i>	3	4
	<i>S. Typhimurium</i>	12	16
	<i>S. Heidelberg</i>	4	5,3
	<i>S. Anatum</i>	2	2,6
	<i>S. Senftenberg</i>	5	6,6
	<i>S. Thompson</i>	3	4
Viscères aviaires	<i>S. Ependorf</i>	4	5,3
	<i>S. Kentucky</i>	3	4
	<i>S. Sandiego</i>	1	1,3
	<i>S. Bredeney</i>	2	2,6
	<i>S. Sinstorf</i>	1	1,3
	<i>S. Typhimurium</i>	5	6,6
	<i>S. Enteritidis</i>	5	6,6
	<i>S. Gallinarum</i>	4	5,3
	<i>S. Hadar</i>	11	14,6
	<i>S. Virshow</i>	2	2,6
	<i>S. Albany</i>	1	1,3
Total		75	100

## 2.10. Antibiorésistance des souches

Les souches ont présenté des résistances aux aminopénicillines pour *E. coli*, les espèces du genre *Salmonella* et *Yersinia*. Les espèces du genre *Clostridium* présentent des résistances à la fois aux aminopénicillines, aux aminosides (gentamicine) et aux quinolones (acide nalidixique) (Tableau 10).

La plupart des souches ne résistent pas aux céphalosporines de 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> générations. Les cas de résistance observés chez *Yersinia* se situent exclusivement au niveau des aminopénicillines.

**Tableau 10.** Résistance aux antibiotiques des pathovars entériques.

Anitbiotiques	<i>Escherichia coli</i> Nb (%)	<i>Salmonella</i> Nb (%)	<i>Yersinia</i>	<i>Clostridium</i> Nb (%)
Ampiciline (AM)	74	(59,5)	9 (100)	(28)
Amox + Ac. cl. (AMC)	60	(54)	3 (33)	(16)
Céfalotine (CF)	9	(57)	9 (100)	(70)
Cefotaxime (CFX)	4	0	0	-
Ceftazidime (CAZ)	3	0	0	15
Gentamicine (GM)	6	(4)	0	(89)
Chloramphénicol (C)	(18,4)	(24)	0	(17)
Tétracycline (TE)	(73,5)	(37)	0	(50)
Ac. Nalidixique (NA)	8	0	0	(86)
Cotrimoxazole	67	(29,3)	3	(20)

## 3. Discussion

Il ressort des résultats de cette étude, que sur 100 repas servis, relevant de l'alimentation de rue, environ huit peuvent véhiculer les agents pathogènes entériques recherchés et cette estimation peut atteindre 27 repas dans le cas d'espèces pathogènes du genre *Clostridium*. En effet, le fait que le taux d'isolement des espèces du genre soit le plus élevé est dû à l'origine tellurique et au caractère thermorésistant de ces souches. En effet, le genre *Clostridium* possède une propriété de sporulation et la spore est le déterminant de la résistance thermique (Simango, 2006 ; Simango, Mwakurudza, 2008) ; ce qui explique que ces espèces subsistent dans des produits insuffisamment cuits. Les résultats obtenus indiquent donc que la cuisson au barbecue, n'est pas assez bien pratiquée par les vendeurs de viande bovine de type «*choucouya*» consommée au cours de la plupart des cérémonies de réjouissance et dans un contexte de restauration collective.

Une autre raison de cette prévalence relativement élevée de *Clostridium* dans la viande cuite au barbecue est que les produits crus sont d'abord exposés à l'air sans protection et la cuisson se fait dans les mêmes conditions, généralement à proximité de la chaussée ; or le réservoir principal de ces souches est le sol (Haeghebaert, 2002 ; Simango, 2006 ). La contamination se fait donc par la poussière charriée par l'air (aérosol). Il y a lieu d'indiquer également que des espèces du genre *Clostridium* appartiennent à une écologie intestinale (Schmidt et al., 2007 ; Rodriguez-Palacios et al., 2007) et par conséquent, la viande peut être contaminée à l'origine, au cours de l'abattage par la flore bactérienne intestinale qui trouvent des conditions de température ambiante favorables à leur prolifération.

L'appréciation de la qualité des viandes, basée sur la numération des anaérobies sulfite-réducteurs, montre que seulement 12% des produits présentent une non-conformité, alors que 104 souches de *Clostridium* potentiellement pathogènes, *C. perfringens* et *C. difficile* ont été mis en évidence. Les données révèlent ainsi, le caractère approximatif des résultats de la numération bactérienne en terme d'évaluation réelle des risques pour le consommateur et l'exigence en la matière de la recherche de facteurs de pathogénicité.

La prévalence de *E. coli* possédant des facteurs de virulence dans les produits alimentaires est de 4%. C'est une donnée qui indique un risque d'intoxication pour le consommateur de produits desquels ont été isolées ces bactéries car les souches virulentes détectées sont susceptibles d'exprimer une pathogénicité à faible dose (Veilleux, Dubreuil, 2005). La valeur de la prévalence (4%) de *E. coli* virulents dans les produits alimentaires analysés est du même ordre (2,6%) que celle trouvée par Cohen et al. (2008), au cours de l'analyse de viande de bœuf et de saucisson au Maroc. Cependant El-Sharef et al. (2006) déterminant la qualité de crèmes glacées produites à Tripoli en Lybie, ont obtenu une prévalence de 6,2% en *E. coli* virulents. La majorité des souches a été isolée de lait, produits laitiers et surtout ceux relevant d'une production artisanale. Le résultat peut s'expliquer par le fait que les caractéristiques physico-chimiques et nutritionnelles d'un produit sont des facteurs déterminants pour la prolifération des microorganismes (Cohen et al., 2008). Ainsi, selon le même auteur, le lait et la viande, de par leur propriétés nutritionnelles, représentent des milieux de choix pour la prolifération de coliformes et de *E. coli*. Le résultat met également en exergue les conséquences du caractère informel dans lequel sont confectionnés les produits analysés, pourtant destinés à la consommation publique.

En effet, le modèle de production informelle ou artisanale se caractérise généralement par des unités de production à petite échelle ou à dimension familiale, de fonctionnement non régulier, non standardisé et non contrôlé, pouvant conduire à l'obtention de produits le plus souvent instables. Par ailleurs, l'appréciation de la qualité des produits se basant sur les dispositions normatives (NF V 08-017) (AFNOR, 1980) de dénombrement de coliformes thermo-tolérants ou *E. coli* a permis de relever plusieurs non-conformités au niveau particulièrement du lait cru, du lait fermenté (non industriel) et de la viande hachée. Les résultats obtenus sont en accord avec ceux des études précédentes. En effet, dans la filière laitière en Côte d'Ivoire, qui est caractérisée par des procédés informels, des résultats semblables de taux anormalement élevés de coliformes et de *E. coli* ont été obtenus (Kouamé-Sina et al., 2010; 2012) et l'insalubrité microbiologique dans la filière laitière a été également évoquée dans des études au Mali (Bonfoh et al., 2002; 2003).

Au regard des déterminants de la virulence spécifiques aux 37 souches de *E. coli* détectées dans les denrées alimentaires, le plus grand nombre (35%) appartient à la classe des *E. coli* entéroaggrégatifs (ECEA). Au niveau des denrées alimentaires analysées, la moitié du nombre de souches isolées (5) provient du lait non pasteurisé. Le lait cru (non pasteurisé), consommé en l'état, présenterait donc des risques d'infection à ECEA. La contamination du lait peut être liée à une dissémination de souches intestinales de bovins, considérés comme un des réservoirs animaux des ECEA (Veilleux, Dubreuil, 2005). Mais les ECEA étant des agents des diarrhées humaines (Nataro, Kaper, 1998; Menard, Dubreuil, 2002), les souches peuvent également provenir de porteurs sains ou malades, parmi le personnel manipulant la denrée. Des ECEA ont également été isolées des produits laitiers, notamment le lait fermenté (2), le yaourt (2), les crèmes glacées (1) et de la viande hachée (1). Il s'agit donc d'une classe de *E. coli* virulentes, répandue dans les produits alimentaires de consommation courante. Il est alors compréhensible, se basant sur nos résultats, que les ECEA soient fréquemment impliquées dans les diarrhées des voyageurs, comme cela a été mis en évidence précédemment (Veilleux, Dubreuil, 2005). Le gène caractéristique des ECEA a été mis en évidence par Cohen et al. (2008) dans 4 souches de *E. coli* au Maroc au cours d'une analyse de produits carnés (bœuf, saucisson). Plusieurs auteurs ont en outre rapporté des cas d'intoxication d'origine alimentaire, liés aux ECEA.

L'autre classe de *E. coli* virulentes isolées dans les produits alimentaires analysés, en nombre important (10) après les ECEA, est représentée par les *E. coli* entéropathogènes (ECEP). Les ECEP ont été isolées de lait et de produits laitiers, notamment le lait cru, le lait fermenté (3) et la crème glacée (2). La consommation de ces produits représente un risque d'infection à ECEP, particulièrement pour les enfants. En effet, les ECEP sont connues pour

être des agents de diarrhées de nourrissons et d'enfants de moins de 5 ans (Nataro, Kaper, 1998). Des travaux précédents (Nataro, Kaper, 1998) ont également identifié des produits alimentaires comme véhicules ou facteurs de risque d'infection à ECEP.

Une seule souche de *E. coli* producteur de shiga-toxine 1 (STEC) a été mise en évidence dans le lait non pasteurisé au cours de cette étude. La contamination peut être liée aux bovins d'origine du lait, car il est établi que ces animaux constituent le réservoir principal des STEC (Cohen et al., 2008). C'est dans un échantillon de poulet qu'une souche (< 1 %) de STEC a été isolée la première fois dans le même milieu d'étude (Dadié et al., 2000). L'étude présente confirme donc que le résultat relativement aux STEC dans notre environnement est quantitativement non significatif. Cependant, compte tenu de la sévérité particulière des infections à STEC (Nataro, Kaper, 1998), avec la possibilité de survenue de cas fatals (Kaper et al., 2004), l'aspect qualitatif de ce résultat devrait attirer l'attention des autorités sanitaires, quant au risque d'infection à STEC pour le consommateur des produits analysés. Plusieurs données africaines montrent en effet l'importance de la présence de ces pathovars particulièrement redoutés dans les denrées alimentaires consommées sur le continent et les intoxications qui en ont résulté. La prévalence obtenue est de 1 à 2,8 % dans les produits à base de maïs, de viande et dans l'eau en Afrique du Sud (Müller et al., 2003; Obi et al., 2004; Benard et al., 2006). Elle est de 4 à 8 % dans les produits aviaires, laitiers, carnés (bœuf, saucisson) en Égypte (Abdul-Raouf et al., 1996a; El-Safey, Abdul-Raouf, 2003).

La colibacillose aviaire associée aux souches d'*Escherichia coli* pathogènes aviaires (APEC) (Stordeur et al., 2004) et la salmonellose aviaire sont considérées comme les infections bactériennes majeures dans l'industrie avicole à travers le monde.

Les résultats obtenus montrent, dans les régimes alimentaires locaux et dans les viscères aviaires, une prévalence en *Salmonella* de 4,6 % avec une diversité de sérovars.

Dans la considération des régimes, l'eau et les autres ingrédients consommés au cours d'un repas classique n'ayant pas été pris en compte, les souches éventuellement apportées par ces éléments sont certainement attribuées aux composants des régimes évoqués dans cette étude. On note que la majorité des souches sont de poulets, de régime à base d'œufs, de poisson ou de viande. Les résultats confirment les travaux précédents, montrant que ces denrées véhiculent le plus les souches de *Salmonella* (D'Aoust, 1989; Jay, 2000).

*Salmonella enterica* sérotype *Typhimurium* et sérotype *Enteritidis* représentent les plus fréquemment isolées parmi les sérovars révélés par notre étude. Le résultat est en accord avec plusieurs données précédentes en France (CNR, 2008), au Gabon (Okome-Kouakou, 1999), au Sénégal (SEYDI, 2005) en Belgique (NRSS, 2004).

Le genre *Yersinia* étant particulièrement exigeant du point de vue de sa culture (ISO 10273:2003; Arnold et al., 2004), il n'a été possible d'isoler des souches du genre avant 2008 en Côte d'Ivoire. Dans le cadre de cette étude qui est une synthèse de nos travaux, dont Atobla et al. (2012), *Yersinia* a été isolée avec une prévalence de 2 % dans la viande de porc dont la consommation sous une forme cuite au four ou à la braise se développe.

L'étude du comportement des pathovars des entérobactéries pathogènes vis-à-vis des antibiotiques révèle que la majorité de souches isolées présentent des résistances aux  $\beta$ -lactamines. *E. coli* est connu pour appartenir au groupe 1 de Jarlier composé d'entérobactéries naturellement sensibles aux  $\beta$ -lactamines (Ratnam et al., 1988). Les résistances aux  $\beta$ -lactamines peuvent s'expliquer par l'adaptation des espèces aux molécules concernées et l'acquisition de facteurs de résistances au cours du temps. L'évolution des résistances en Côte d'Ivoire chez *E. coli* avait déjà été évoquée par Dadié et al. (2003) et Guessens et al. (2008) et le phénomène s'inscrit dans un contexte international depuis environ une vingtaine d'années. Les résistances concernent particulièrement les aminopénicillines, les carboxypénicillines, les uréidopénicillines et dans une moindre mesure les céphalosporines de 1<sup>re</sup> génération. Le même

profil de résistance a été observé précédemment (Dadie et al., 2003). Les espèces du genre *Salmonella* et *Yersinia* ont présenté des résistances aux aminopénicillines et aux aminosides comme cela a été précédemment observé pour *Salmonella* (Weil, 2008) et *Clostridium* (Aspevall et al., 2006 ; Bourgault et al., 2006 ; Schmidt et al., 2007).

## 4. Conclusion

Les souches recherchées ont toutes été détectées et donc le risque infectieux associé à ces espèces est effectif dans notre milieu, malgré la prévalence faible révélée par nos résultats en particulier pour le genre *Yersinia*. Compte tenu de l'implication avérée des espèces du genre dans des toxi-infections alimentaires et la résistance observée à certaines familles d'antibiotiques, un mécanisme de surveillance visant leur maîtrise est indispensable en Côte d'Ivoire.

## Bibliographie

- Abdul-Raouf U.M., Ammar M.S., Beuchat L.R., 1996. Isolation of *Escherichia coli* O157:H7 from some Egyptian foods. *International Journal of Food Microbiology*, **29**(2-3), 423-426.
- AFNOR (Association Française de Normalisation), 1980. *NF V 08-017 : Dénombrement des coliformes fécaux et E. coli*. AFNOR, Saint Denis, France.
- Arnold T., Neubauer H., Nikolaou K., Roesler U., Hensel A., 2004. Identification of *Yersinia enterocolitica* in Minced Meat: A Comparative Analysis of API 20E, *Yersinia* Identification Kit and a 16S rRNA-based PCR Method. *Journal of Veterinary Medicine, Series B*, **5**, 23-27.
- Aspevall O., Lundberg A., Burman L.G., Åkerlund T., Svenungsson B., 2006. Antimicrobial susceptibility pattern of *Clostridium difficile* and its relation to PCR ribotypes in a Swedish university hospital. *Antimicrobial Agents Chemotherapy*, **50**, 1890-1892.
- Atobla et al., 2012. Isolation and characterization of *Yersinia intermedia* strains from pig tonsils in Abidjan, Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **6**(1), 108-116.
- Aulisio C.C.G., Mehlman I.J., Sanders A.C., 1980. Alkali method for rapid recovery of *Yersinia enterocolitica* and *Yersinia pseudotuberculosis* from foods. *Applied and Environmental Microbiology*, **39**, 135-140.
- Benard O., Abong O.A., Maggy N.B., Momba B., 2009. Prevalence and characterization of *Escherichia coli* O157:H7 isolates from meat and meat products sold in Amathole District, Eastern Cape Province of South Africa. *Food Microbiology*, **26**, 173-176.
- Bonfoh B. et al., 2002. Qualité microbiologique du lait et des produits laitiers vendus en saison chaude dans le District de Bamako au Mali. *Bioterre*, N° spécial (Actes du colloque international, Centre Suisse du 27-29 Août 2001), 242-250.
- Bonfoh B. et al., 2003. Les sources de contamination du lait local et les méthodes d'amélioration de sa qualité microbiologique à Bamako (Mali). *Revue Études et Recherches Sahéliennes*, **8-9**, 29-37.
- Bourgault A.M., Lamothe F., Loo V.G., Poirier L., 2006. *In Vitro* Susceptibility of *Clostridium difficile* Clinical Isolates from a Multi-Institutional Outbreak in Southern Québec, Canada. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, **50**(10), 3473-3475.
- CA-SFM (Comité de l'antibiogramme de la Société Française de Microbiologie), 2012. *Recommandations 2012*. Société Française de Microbiologie (SFM). <http://www.sfm-microbiologie.org/>
- Centers for Disease Control and Prevention, 2009. Preliminary FoodNet Data on the incidence of infection with pathogens transmitted commonly through food-10 states, 2008. *Morbidity Mortality Weekly Report*, **58**, 333-337.
- CDC (Center for disease control and prevention), 2008. *Escherichia coli* O157:H7 Infections in children associated with raw milk and raw Colostrum from Cows California, *Morbidity and Mortality Weekly Report*, **57**(23), 625-628.

- CNR (Centre National de Référence des *E. coli* et *Shigella*), 2008. *Rapport d'activité annuelle 2008*. Laboratoire des bactéries pathogènes entériques. Institut Pasteur et Laboratoire associé, Service de microbiologie, Hôpital Robert Débré, Paris.
- Cohen N. et al., 2008. Microbial quality control of raw ground beef and fresh sausage in Casablanca (Morocco). *Journal of Environmental Health*, **71**(4), 51-55.
- Cunningham S.A. et al., 2010. Three-Hour Molecular Detection of *Campylobacter*, *Salmonella*, *Yersinia*, and *Shigella* Species in Feces with Accuracy as High as That of Culture. *Journal of Clinical Microbiology*, **48**(8), 2929-2933.
- Dadie A., Guessennd N., Tiekoura B., Faye-Kette H., Dosso M., 2003. Résistance aux  $\beta$ -Lactamines de *Escherichia coli* d'origine alimentaire et humaine isolés à Abidjan. *Journal des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques*, **4**(1), 62-69.
- D'Aoust J.Y., 1989. *Salmonella*. Marcel Dekker, New York.
- El-Safey E., Abdul-Raouf U.M., 2003. Detection of *E coli* O157:H7 in some Egyptian food. *Assiut Journal of Agricultural Science*, **36**(6), 373-377.
- El-Sharef et al., 2006. Bacteriological quality of ice cream in Tripoli-Libya. *Food Control*, **17**(8), 637-641.
- Frank C. et al., 2011. Epidemic Profile of Shiga-Toxin-Producing *Escherichia coli* O104:H4 Outbreak in Germany. *The New England Journal of Medicine*, **365**, 1771-1780.
- Frankel G., Giron J.A., Valmassoi J., Schoolnik G.K., 1989. Multi-gene amplification: simultaneous detection of three virulence genes in diarrhoeal stool. *Molecular Microbiology*, **3**, 1729-1734.
- Fredriksson-Ahomaa M., Korkeala H., 2003. Low occurrence of pathogenic *Yersinia enterocolitica* in clinical, food and environmental samples: a methodological problem. *Clinical Microbiology Reviews*, **16**, 220-229.
- Garin B. et al., 2002. Multicenter Study of Street Foods in 13 Towns on Four Continents by the Food and Environmental Hygiene Study Group of the International Network of Pasteur and Associated Institutes. *Journal of Food Protection*, **65**(1), 146-152.
- Guessennd N. et al., 2008. Qnr-type quinolone resistance in extended-spectrum beta-lactamase producing enterobacteria in Abidjan, Ivory Coast. *Pathologie Biologie*, Paris, **56**(7-8), 439-446.
- Guiraud J.P., 2003. *Microbiologie alimentaire*. Dunod, Paris.
- Haeghebaert S. et al., 2002. Deux épidémies de salmonellose à *Salmonella enteritidis* en 2001. *Bulletin Epidémiologique*, **5**, 1-3.
- Jay J.M., 2000. Foodborne gastroenteritis caused by *Salmonella* and *Shigella*. In: *Modern Food Microbiology*, 6<sup>th</sup> ed. Aspen Publishers, Gaithersburg, MD, USA, p. 511-528.
- Karou T.G. et al., 2001. Salubrité des crèmes glacées et sorbets vendus sur la rue à Abidjan, Côte d'Ivoire/ Salubrity of ice cream and sorbet sold on the streets in Abidjan, Côte d'Ivoire. *Microbiologie Hygiène Alimentaire*, **13**(38), 42-50.
- Kouamé-Sina S.M. et al., 2010. Analyse des risques microbiens du lait cru local à Abidjan (Côte d'Ivoire). *Revue Africaine de Santé et de Productions Animales*, **8**, 35-42.
- Kouamé-Sina S.M. et al., 2012. Hazard identification and exposure assessment for bacterial risk assessment of informally marketed milk in Abidjan, Côte d'Ivoire. *Food and Nutrition Bulletin*, **33**(4), 223-234.
- Lashley F.R., 2006. Emerging infectious diseases at the beginning of the 21<sup>st</sup> century. *Online Journal Issues Nursery*, **11**(1), 2.
- Le Minor L., Richard C., 1993. *Méthodes de laboratoire pour l'identification des entérobactéries*. Institut Pasteur, Paris.
- Mariani-Kurkdjian P., Bingen E., Gault G., Jourdan-Da Silva N., Weill F.X., 2011. *Escherichia coli* O104:H4 south-west France, June 2011. *The Lancet Infectious Diseases*, **11**(10), 732-733.
- Menard L.P., Dubreuil J.D., 2002. Enterotoxigenic *Escherichia coli* heat-stable enterotoxin 1 (EAST1): a new toxin with an old twist. *Critical Review in Microbiology*, **28**(1), 43-60.



- Müller E.E., Grabow W.O.K., Ehlers M.M., 2003. Immunomagnetic separation of *Escherichia coli* O157:H7 from environmental and wastewater in South Africa. *Journal of Water in South Africa*, **29**, 431-439.
- Nataro J.P., Kaper J.B., 1998. Diarrheagenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews*, **11**(1), 142-201.
- Nguyen R.N., Taylor L.S., Tauschek M., Robins-Browne R.M., 2006. Atypical enteropathogenic *Escherichia coli* infection and prolonged diarrhea in children. *Emerging Infectious Diseases*, **12**, 597-603.
- NRSS (Nationaal Referentiecentrum voor Salmonella en Shigella), 2004. *Jaarverslag Salmonella en Shigella stammen afgezonderd in België in 2004*. <http://bacterio.iph.fgov.be/reporting/reportspdf/Salmonella%202004%20nl.pdf>
- Obi C.L. et al., 2004. Gene encoding virulence markers among *Escherichia coli* isolates from diarrhoeic stool samples and river sources in rural Venda communities of South Africa, *Water SA*, **30**(1), 37-42.
- O'Keefe E., Wood R., 1996. AIDS in Africa. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, **220** (Suppl), 147-152.
- Okome-Kouakou M.I., Bekale J., Kombila M., 1999. Salmonellosis in HIV infection in a hospital setting in Gabon. *Médecine Tropicale*, **59**(1), 46-50.
- OMS, 2007. *Guide pour le respect des conditions d'hygiène sur les marchés alimentaires*. [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43616/1/9789242593938\\_fre.pdf?ua=1&ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43616/1/9789242593938_fre.pdf?ua=1&ua=1)
- OMS, 2013. *Exécution du budget programme 2012-2013 : rapport intérimaire. Rapport du Secrétariat; Soixante-Sixième Assemblée Mondiale De La Santé; Point 12.1 de l'ordre du jour provisoire 26 avril 2013; A66/5*. Organisation Mondiale de la Santé, Genève.
- Panisset J.C., Dewailly E., Doucet-Leduc H. 2003. Contamination alimentaire. In : Gérin M., Gosselin P., Cordier S., Quenel P., Dewailly E. (eds). *Environnement et santé publique- Fondements et pratiques*. Edisem, Acton Vale, Quebec/Tec et Doc, Paris, p. 369-395.
- Pass M.A., Odedra R., Batt R.M., 2000. Multiplex PCRs for Identification of *Escherichia coli* Virulence Genes. *Journal of Clinical Microbiology*, **38**(5), 2001-2004.
- Ratnam S., March S.B. et al., 1988. Characterization of *Escherichia coli* serotype O157:H7. *Journal of Clinical Microbiology*, **26**(10), 2006-2012.
- Rodriguez-Palacios A., Staempfli H.R., Duffield T., Weese J.S., 2007. *Clostridium difficile* in retail ground meat, Canada. *Emerging Infectious Disease*, **13**(3), 485-487.
- Schmidt C., Loeffler B., Ackermann G., 2007. Antimicrobial phenotypes and molecular basis in clinical strains of *Clostridium difficile*. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, **59**, 1-5.
- Seydi M., Soumare M., Sow A.I., Diop B.M., Sow P.S., 2005. Aspects actuels des bactéries à *Salmonella* à la clinique des maladies infectieuses Ibrahima Diop Mar du centre hospitalier national de Fann (Sénégal). *Médecine et Maladies Infectieuses*, **35**, 23-27.
- Simango C., 2006. Prevalence of *Clostridium difficile* in the environment in a rural community in Zimbabwe. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, **100**, 1146-1150.
- Simango C., Mwakurudza S., 2008. *Clostridium difficile* in broiler chickens sold at market places in Zimbabwe and their antimicrobial susceptibility. *International Journal of Food Microbiology*, **124**, 268-27.
- Stordeur P., Bree A., Mainil J. et al., 2004. Pathogenicity of pap-negative avian *Escherichia coli* isolated from septicemic lesions. *Microbes Infection*, **6**, 637-645.
- Veilleux S., Dubreuil J.D., 2005. Presence of *Escherichia coli* carrying the EAST1 toxin gene in farm animals. *Veterinary Research*, **37**, 3-13.
- Weil F.X., 2008. Salmonelles non typiques d'origine animale et résistance aux antibiotiques. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*, **161**(3), 221-234.



## ***E. coli* O157:H7 et non-O157:H7 producteurs de shiga-toxines dans l'alimentation : situation africaine de 1990 à 2012 et implications**

Dadie Adjéhi Thomas, University of Abobo-Adjamé, Abidjan, Côte d'Ivoire,

E-mail : thomasdadie@yahoo.fr

Dako Etienne, University of Moncton (NB), Canada

Dosso Mireille, University of Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire

### **Résumé**

Les *Escherichia coli* producteurs de Shiga-toxine (STEC) sont des espèces émergentes, présentant une préoccupation au plan de la sécurité sanitaire des aliments et dont l'importance épidémiologique est en nette progression. Bien que l'extension géographique du pathovar à tous les continents soit une réalité, la situation africaine relative au STEC est peu documentée et mal connue. L'exploitation dans cette revue, de quelques données disponibles, résultant de travaux de ces 22 dernières années, permet d'en avoir un aperçu. On note que les STEC ont été mis en évidence dans plus d'une vingtaine de pays africains, ont été à l'origine d'une dizaine d'épidémies graves et sont impliqués dans plusieurs cas de diarrhées infectieuses particulièrement chez les enfants. Des données confirment la filière bovine comme réservoir principal du pathovar et la viande bovine, ovine, le lait, les produits laitiers et l'eau souillés, comme principales sources de transmission en Afrique. La consommation d'aliments de production locale comme *kochari* en Égypte, les fast food des restaurants appelés *Bukkas* au Nigeria et la viande insuffisamment cuite ou fumée de zébu (*Bos indicus*) en République Centrafricaine ont également été cités comme sources de contamination. Quelques STEC non-O157:H7 ont été mis en évidence dans certaines régions, bien que le sérotype O157:H7 soit à l'origine de la majorité des cas de diarrhées. Les études effectuées sur la susceptibilité des souches vis-à-vis des antibiotiques montrent une résistance aux  $\beta$ -lactamines notamment ampicilline, amoxicilline, céfalotine, mais aussi tétracyclines et chloramphenicol. La procédure de détection des STEC comporte un isolement sur milieux sélectifs pour *E. coli* O157:H7 ou entérobactéries et une recherche de facteurs de virulence associés, le plus souvent par PCR ; rarement un sous-typage (RLFP, PFGE) des souches est effectué. Le renforcement de capacités des laboratoires et la mise en place de mécanismes de surveillance à portée régionale ou continentale est une nécessité en Afrique.

### **Shiga toxin-producing *E. coli* O157:H7 and non- O157:H7 in food: African situation between 1990 and 2012 and consequences**

Shiga toxin-producing *Escherichia coli* (STEC) are emerging species with a concern in terms of food safety and whose epidemiological significance is increasing. Although the geographical extension of the pathovar in all continents is a reality, the African situation as it relates to STEC is hardly documented and not widely known. The exploitation of some available data derived from research during the last 22 years, allows one to have a fair idea of the situation. Thus, STEC were found in more than 20 African countries, were responsible for about ten serious outbreaks and were involved in several cases of infectious diarrhea particularly in children. Data confirms the bovine connection as the main reservoir of the pathovar, and cattle and sheep meat, as well as dairy products and contaminated water as the main transmission sources in Africa. The consumption of locally produced foodstuff such as *kochari* in Egypt, fast food made in the restaurants called *Bukkas* in Nigeria and uncooked or smoked zebu (*Bos indicus*) in Central African Republic, were also cited as sources of contamination. Some non-O157:H7 STEC were noted in certain regions, although the O157:H7 serotype is at the origin of most diarrhea cases. The studies carried out on the susceptibility of the strains reveal a resistance to  $\beta$ -lactamines especially ampicillin, amoxicillin, cefalotine and also tetracycline and chloramphenicol. The procedure for detecting STEC entails their isolation on *E. coli* O157:H7 or enterobacteria selected media and detection of associated virulence factors most often by PCR; very rarely is a subtyping (RLPF, PFGE) of the strains carried out. Reinforcement of the capacity of laboratories and the setting up of surveillance mechanisms at the regional or continental level is a necessity in Africa.

# 1. Introduction

La lutte contre les infections diarrhéiques d'origine alimentaire est considérée par WHO/FAO comme une priorité mondiale (WHO, 2002a; 2002b; Henson, 2003; OMS/FAO, 2008).

Au sommet du G8 à Saint-Petersbourg (Gouvernement du Canada, 2006), il a été réaffirmé «l'importance, pour le développement international et le bien-être de la population mondiale, de contrer vigoureusement la menace des maladies infectieuses, principale cause de décès dans le monde». Les infections à *Escherichia coli* pathogènes qui représentent une large proportion des cas, sont à elles seules à l'origine d'environ 11 millions de morts chez les enfants de moins de 5 ans (Kaper et al., 2004; WHO, 2005). Parmi les sérovars de cette espèce, se trouve une classe particulière désignée par *E. coli* entérohémorragique (EHEC), caractérisée dans leur majorité par la production de shiga-toxine (O'Brien et al., 1982; Scotland, 1983; Lin et al., 1993). Les *E. coli* producteurs de shiga-toxine (STEC), dont le prototype est le sérotype O157:H7 se présentent comme des pathogènes émergents les plus redoutés en santé publique ces dernières années (Mead, Griffin, 1998; Pavankumar, Sankaran, 2008). Plus de 250 morts dans le monde sont attribuées aux infections à *E. coli* entérohémorragiques (EHEC) chaque année (Mahon et al., 1997). Depuis la première mise en évidence des STEC, on assiste à une expansion spectaculaire (Mead, Griffin, 1998), à tous les continents et une importance épidémiologique grandissante (Griffin, Tauxe, 1991; Nataro, Kaper, 1998; FAO, 2009). Les STEC représentent les agents émergents les plus redoutés en santé publique ces dernières années (Tarr et al., 2005). Ils sont par conséquent l'objet de déclaration obligatoire, de recherche systématique en contrôle de procédés ou de qualité des aliments et mobilisent l'attention des autorités à charge de la santé et sécurité sanitaire des aliments dans le monde (CDSC, 1996; Nataro, Kaper, 1998; OFSP, 2001; Grad et al., 2013). La dernière plus grande épidémie, associée à *E. coli* O104:H4, est survenue en Allemagne, a provoqué 3332 infections, la mort de 36 personnes et s'est répandue dans plusieurs pays en Europe (Bielaszewska et al., 2011; Mariani-Kurkdjian, 2011).

La première épidémie à *E. coli* O157 s'est déclarée en Afrique du Sud au Swaziland (Isaacson et al., 1993; Effler et al., 2001). Depuis lors, des auteurs ont également rapporté l'isolement du même type de pathovars dans d'autres régions de l'Afrique (Germani et al., 1997; Cunin et al., 1999; Effler et al., 2001; Benard et al., 2009; Nesreen et al., 2009). Mais le constat à ce jour, est que les données sont très peu nombreuses ou très peu connues (Effler et al., 2001; Raji et al., 2006). Des facteurs de risque potentiel existent dans l'environnement africain pouvant favoriser la survenue et le développement des STEC. Il s'agit notamment, d'une hygiène précaire dans plusieurs régions (Bopp et al., 2003; Koyange et al., 2004; Mensah et al., 2002), de la pratique de l'élevage bovine (Bonfoh et al., 2003), d'un système sanitaire défaillant (Cunin et al., 1999; Henson, 2003), du nombre d'immuno-compromis accru avec la pandémie du VIH/SIDA (Gassama et al., 2001; Gassama-Sow et al., 2004; Kelly et al., 2003) et de nombreuses zones confligènes entraînant le déplacement et la concentration de populations par endroits, donc une vie de promiscuité. Il y a par conséquent une nécessité d'une meilleure connaissance épidémiologique, d'un développement d'outils de détection, en vue de la surveillance et de la maîtrise de ce pathovar émergent.

L'objet de cette revue est de faire le point à partir de données disponibles (publiées), pour une meilleure connaissance de la situation africaine relative aux STEC, d'appréhender l'importance et l'enjeu de l'évolution de ces types de pathovars et de sensibiliser sur la définition de stratégies de lutte collective, de réseaux de surveillance nationale ou transnationale.

## 2. EHEC/STEC

C'est au cours d'une investigation du CDC d'Atlanta, menée dans les états de Michigan et de Oregon, aux USA, à la suite d'une grave épidémie de diarrhées sanglantes liées à la consommation de sandwiches (hamburgers) contaminés que *E. coli* de sérotype O157:H7 a été isolé (Wells et al., 1983). La bactérie a été isolée des selles des malades et retrouvée également dans le pâté à base de viande de bœuf, qui a servi à la confection des sandwiches (Riley et al., 1983). Bien qu'un mécanisme toxinogène ait été mis en évidence, on n'a pas retrouvé au niveau de ce modèle, des toxines classiques du genre LT et ST, produites par *E. coli* entérotoxigène (ECET), mais plutôt une Shiga-toxin (Stx) ou vérotoxine (VT), ainsi appelée, à cause de son action sur les cellules véro (cellule de rein de singe) en culture (Konowalkuck et al., 1977). En outre, le mécanisme physiopathogénique était différent de celui des *E. coli* entéroinvasifs (ECEI) et des *E. coli* entérotoxigènes (ECEP) (O'Brien et al., 1982 ; Lingwood et al., 1987). Ces constatations ont permis de distinguer une nouvelle classe de *E. coli* appelée entérohémorragique (ECEH) (Levine, 1987). Sous ce terme sont regroupés tous les sérotypes responsables d'une manifestation clinique semblable à celui des O157:H7, générant des colites hémorragiques (HC) ou syndrome hémolytique urémique (SHU), produisant une toxine Stx, possédant un plasmide virulent de 60 Mda et provoquant des lésions d'attachement-effacement d'entérocytes (LEE) dans le règne animal (Levine, 1987 ; Griffin, 1995 ; Espié, Leclerc, 2003).

Le principal facteur de virulence est la production de violentes toxines ou Shiga-toxine de type 1 et 2 (Stx1 et Stx2) dont le première présente une homologie structurale et antigénique avec la toxine Shiga, produite de façon classique par *Shigella dysenteriae* sérotype 1 (O'Brien et al., 1982 ; Strockbine et al., 1988 ; Reid et al., 2000). Les autres facteurs de virulence caractéristiques sont la production d'une entérohémolysine (ehly) (Beutin et al., 1989 ; 1991 ; Soloaga et al., 1999 ; Schmidt et al., 1995) et une intimine (eaeA) déterminant le facteur d'attachement-effacement des microvillosités de la paroi intestinale (Donnenberg et al., 1992 ; Knutton et al., 1987 ; Abe et al., 2002). L'affection caractéristique associée aux STEC est une colite hémorragique, suscitant une diarrhée accompagnée de sang, qui peut se compliquer en syndrome urémique hémolytique (SHU), soit une atteinte rénale ou encore une atteinte nerveuse par la modification de la formule sanguine traduite par une purpura thrombotique thrombocytopénique (PTT), pouvant conduire à la mort (Tarr, 1995). Il est bien établi que les bovins constituent le principal réservoir de *E. coli* O157:H7 (Armstrong et al., 1996 ; Mainil, Daube, 2005), mais ces bactéries ont également été isolées d'autres animaux (daims, moutons, chèvres, chevaux, chiens, oiseaux, mouches) et persistent dans l'environnement, eau, fumier, sol (Beutin et al., 1993 ; Koch et al., 2001 ; Zhang et al., 2002 ; Caprioli et al., 2005 ; Espié, Vaillant, 2003). L'homme se contamine par la consommation d'eau ou d'aliments souillés de type, viande de bœuf insuffisamment cuite, de lait et produits laitiers non pasteurisés (Griffin, Tauxe, 1991). Le contact de personne à personne ou avec les animaux porteurs est également rapporté (CDSC, 2000 ; Vaillant, Espié, 2002 ; Koyange et al., 2004).

L'incidence réelle des STEC sur les populations dans le monde n'est pas tout à fait connue à cause de cas de sous-déclarations, de la difficulté de détection de ce type de bactéries et éventuellement de la déficience en stratégies de surveillance dans plusieurs pays surtout en Afrique. Par ailleurs, la nette compréhension du mode d'émergence et du mécanisme de pathogénicité des STEC relève encore pour une large part, du domaine de la recherche.

## 3. Epidémiologie

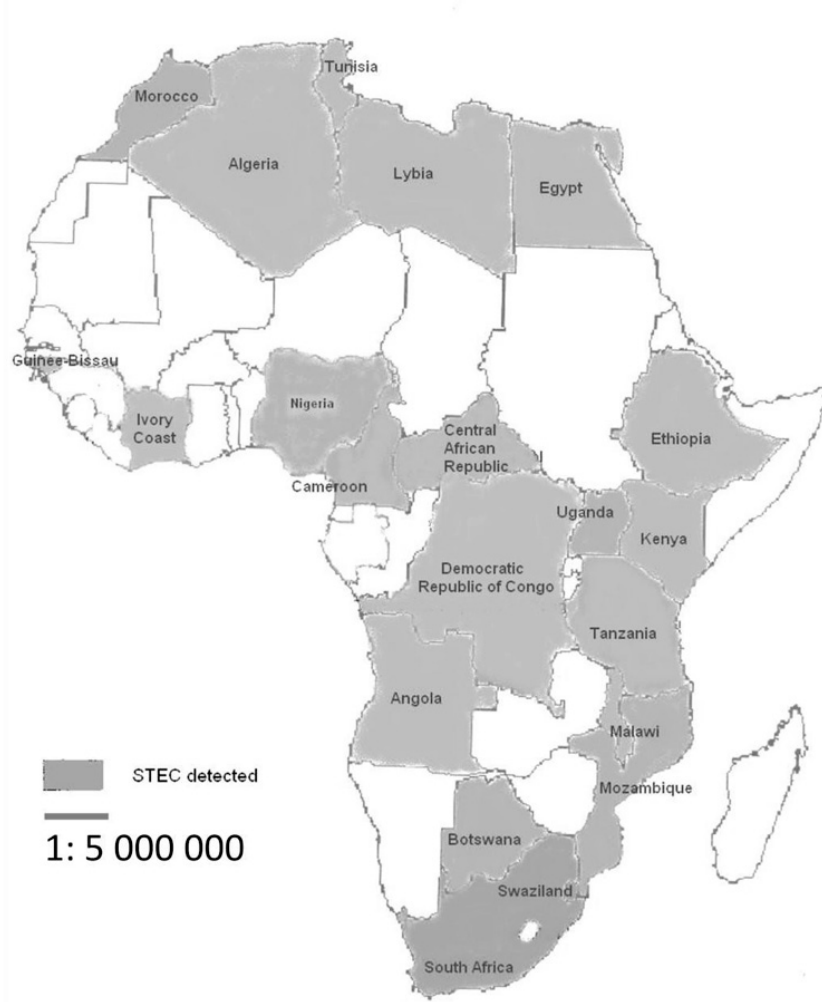
### 3.1. Répartition géographique

EHEC/STEC sont les plus isolés dans les diarrhées à *E. coli* en Amérique du Nord et en Europe (Frenzen et al., 2005). Si les infections à *E. coli* responsables de gastroentérites sont considérées

comme endémiques en Afrique (Agbodaze et al., 1988; Ako-Nai et al., 1990; Calundungo et al., 1994; Germani, 1995; Germani et al., 1998a). C'est à partir de 1990 que vont apparaître les premières données concernant le pathovar *E. coli* O157 et les autres sérovars producteurs de Shiga-toxine de la classe des *E. coli* entérohémorragiques (Browning et al., 1990). Selon Sooka et al. (2004) qui évoque une communication personnelle de Clay, trois cas d'infection à *E. coli* O157H7 ont été identifiés en 1988 en Afrique du Sud, dont un était lié à la consommation de hamburger. Mais, la révélation des STEC comme problème de santé publique en Afrique, s'est faite avec la survenue de l'épidémie au Swaziland, à Mpumalanga et au Kwazulu-natal (Isaacson, 1993; Effler et al., 2001). Actuellement, au regard des résultats de travaux disponibles, on sait que *E. coli* O157 ou les STEC ont été mis en évidence dans chaque région et dans plus d'une vingtaine de pays en Afrique. Les pays concernés dans la partie sud de l'Afrique sont l'Afrique du Sud (Browning et al., 1990; Effler et al., 2001; Obi et al., 2004; Ateba et al., 2008; Benard et al., 2009), Swaziland (Isaacson et al., 1993), Angola (Calundungo et al., 1994), Botswana (Magwira et al., 2005), Malawi (Paquet et al., 1993). À l'est du continent, les STEC ont été isolés au Kenya (Sang et al., 1996; 1997; Arimi et al., 2000; 2005), Uganda (Kaddu-Mulindwa et al., 2001), Tanzanie (Hayghaimo et al., 2001) et Éthiopie (Tsegaye, Ashenafi 2005; Hiko et al., 2008). Au centre de l'Afrique on distingue la République Centre Africaine (Germani et al., 1997), le Cameroun (Cunin et al., 1999), la République Démocratique du Congo (Koyange et al., 2004). À l'Ouest, la mise en évidence des STEC s'est effectuée au Nigeria (Ogunsanya et al., 1994; Okeke et al., 2000; 2003), Côte d'Ivoire (Dadie et al., 2000), Guinée Bissau et au Nord, en Égypte (Abdul-Moeze, pers. comm.; Abdul-Raouf et al., 1996a; 1996b; El-Safey, Abdouf-Raouf, 2003), Maroc (Beneduce et al., 2008; Badri et al., 2009a; 2009b), Tunisie (Al-Gallas et al., 2007), Algérie (Chaheb et al., 2007) et Lybie (Ghenghesh et al., 2001; 2008; El-Sharef et al., 2006). La figure 1 présente une configuration cartographique de la répartition géographique et la révélation des STEC dans les pays africains. Quand bien même la recherche est effectuée, les STEC n'ont pas été détectés ou les données ne sont pas disponibles pour certains pays comme Sénégal (Gassama et al., 2001; Gassama-Sow et al., 2004), Ghana (Agbodaze, 1999; Agbodaze et al., 2005), Somalie, Djibouti, Soudan (El-Sayed et al., 2008), Mozambique (Rapelli et al., 2005), Gabon (Presterl et al., 2003), Tanzanie (Moyo et al., 2007), Mali, Mauritanie (Haeghebaert et al., 2000); ce qui montre que plusieurs pays africains sont sensibilisés au risque d'infection par ce pathovar. Dans le cas spécifique du Mali et de la Mauritanie, des souches de STEC ont été isolées au cours d'une surveillance de syndrome hémolytique et urémique (SHU) en France chez des personnes qui venaient juste d'effectuer un voyage dans ces pays (Haeghebaert et al., 2000). Cependant, il n'existe pas de données relevant de résultats d'investigation locale. La révélation des EHEC/STEC étant liée à la capacité technique des laboratoires à les détecter dans un environnement donné, il est évident que l'extension géographique réelle de ces agents sur le continent africain, reste à élucider. Le tableau 1 qui présente l'ordre de mise en évidence dans le temps des STEC selon les pays, ne traduit donc pas un mode de circulation spatio-temporel des pathovars. Mais ces données informent plutôt sur l'évolution des capacités d'investigation sur les STEC dans certains pays; soit pour juguler une situation d'épidémie, soit pour un contrôle et l'adéquation des moyens de détection.

### 3.2. Réservoir et transmission

De façon générale, le réservoir des STEC et les facteurs de risque principalement connus, sont les bovins, la viande de bœuf, le lait et les produits laitiers (McEvoy et al., 2003; Greenland et al., 2009). Reinders et al. (2002) estiment à environ 2% la prévalence des *E. coli* O157 sur la carcasse de bœuf. En Afrique, les travaux effectués sur des échantillons de la filière bovine confirment cette tendance (El-Safey, Abdul-Raouf, 2003; Raji et al., 2006; Ateba et al., 2008). La première épidémie survenue au Swaziland était associée à la consommation de viande



**Figure 1.** Répartition géographique des zones d'isolement des STEC sur le continent africain.

de bœuf et d'eau non traitée (Isaacson et al., 1993). Les STEC ont été détectés avec une prévalence de 5 à 6% dans le bœuf en Égypte (Abdoul-Raouf et al., 1996a; 1996b; El-Safey, Abdoul-Raouf, 2003). Une étude effectuée en Tanzanie par Hayghaimo et al. (2001) a permis d'isoler des STEC à partir de carcasse de bœuf. Charimba (2004) a étudié l'incidence, la croissance et la survie des *E. coli* diarrhéogènes dans des produits carnés en Afrique du Sud et a détecté un STEC des 105 isolats analysés. Au Botswana, Magwira et al. (2005) les ont isolés avec un taux de 3,8% dans de la viande de bœuf. Une étude effectuée sur 100 échantillons de viande fraîche, dans une quinzaine de boucheries au Maroc, a permis d'isoler *E. coli* O157 dans 9% des produits (Beneduce et al., 2008). Au cours d'une étude de comparaison de la prévalence de STEC en Belgique et en Algérie, Chahed (2007) a échantillonné 230 carcasses de bœuf produites dans un abattoir à Alger. Parmi elles, 18 se sont révélées positives pour la présence des STEC O157, soit une prévalence de 7,8%. Hiko et al. (2008) qui ont analysé 250 échantillons de viande de bœuf en Éthiopie ont trouvé une prévalence de 8%.

**Tableau 1.** Ordre d'apparition des données sur la mise en évidence des STEC en Afrique.

Année de détection	Pays (Villes) (d'isolement des EHEC/ STEC)	Références
1990	Afrique du Sud	Browning et al., 1990
1992	Afrique du Sud (Swaziland)	Isaacson et al., 1993
1993	Malawi	Paquet et al., 1993
1994	Angola	Calundungo et al., 1994
	Nigéria	Ogunsanya et al., 1994
	Égypte	Abdul-Moeze, 1994
	Centrafrique	Germani et al., 1997
1996	Kenya	Sang et al., 1996
	Égypte	Abdoul-raouf et al., 1996
	Nigeria	Akinyemi et al., 1998
1998	Cameroun	Cunin et al., 1999
	Côte d'Ivoire	Dadie et al., 2000
1999	Nigeria	Okeke et al., 2000
	Lagos/Nigéria	Olorunshela et al., 2000
2000	Uganda	Kaddu-Mulindwa et al., 2001
	Tanzanie	Hayghaimo et al., 2001
	Afrique du Sud	Effler et al., 2001 ; Petrinella, Le Roux, 2001 ; Galane, Le Roux, 2001 ; Ghenghesh et al., 2001
	Congo (Kinshasa) (RDC)	Koyange et al., 2003
2003	Nigéria	Okeke et al., 2003
	Guinée-Bissau	
	Égypte	El-Safey, Abdul-Raouf, 2003
2004	Afrique du Sud (Venda région)	Obi et al., 2004
2004	Mozambique	Rapelli et al., 2005
	Botswana	Magwira et al., 2005
2005	Éthiopie	Tsegaye, Ashenafi (2005)
	Lybie	El-Sharef et al., 2006
2006	Algérie	Chahed, 2007
	Tunisie (Tunis)	Al-Gallas et al., 2007
2007	Maroc	Beneduce et al., 2008 ; Badri et al., 2009a ; 2009b
	Éthiopie	Hiko et al., 2008
2009	South Africa (Amathole district, Cape)	Benard et al., 2009
	Nigeria (Lagos, Zaria)	Smith et al., 2009

Mais les bovins et la viande bovine ne constituent pas les seuls véhicules des STEC répertoriés en Afrique. Des sérovars ont également été isolés en Éthiopie de viande d'agneau, de mouton (2,5 %) et de chèvre (2 %) (Hiko et al., 2008). En Algérie, la prévalence des STEC chez les ovins est de 2,5 % sur la carcasse et 25,4 % dans la matière fécale (Chahed, 2007).

Par ailleurs, la transmission de personne à personne (interhumaine) a également été évoquée au Cameroun (Cunin et al., 1999), au Nigeria (Okeke et al., 2003) et en République Démocratique du Congo (Koyange et al., 2004).

Que ce soit l'épidémie originelle de 1982 (Riley et al., 1983) ou la majorité des épidémies à STEC rapportées depuis l'émergence de ce pathovar, la voie de transmission alimentaire est fréquemment citée (Effler et al., 2001 ; Müller et al., 2001 ; Obi et al., 2004).

Les aliments et l'eau souillés constituent également les principales sources de transmission des STEC en Afrique. L'eau est considérée comme un facteur de risque de l'émergence des



STEC en Afrique selon plusieurs auteurs (Effer et al., 2001 ; Muller et al., 2001 ; Obi et al., 2004). Le principal facteur ayant contribué à la survenue de l'épidémie de *E. coli* O157 en République Centrafricaine et au Cameroun était la consommation d'eau contaminée notamment, l'eau de forage, de borne-fontaine et de l'eau de stockage à domicile (Germani et al., 1997 ; 1998 ; Cunin et al., 1999 ; Tuyet et al., 2006).

Concernant les produits alimentaires, Isaäcson et al. (1993) et Effler et al. (2001) ont indiqué que l'épidémie à *E. coli* O157:HNM survenue en Afrique du Sud (Swaziland) était associée entre autres à une consommation de maïs cuit. Aussi, l'épidémie à *E. coli* O157 survenue en Égypte en 1994 résultait d'une consommation d'un type de sandwich contaminé du nom local de Kushari et aussi de produits laitiers (Abdul-Moeze, pers. comm.). C'est de ce même pays que proviennent les données importantes sur la prévalence des STEC dans une diversité de produits alimentaires. Abdul-Raouf et al. (1996a ; 1996b) analysant un ensemble de 175 échantillons alimentaires, ont détecté des STEC chez le poulet (4%), l'agneau (4%) et dans le lait (6%) prélevés à l'abattoir, au supermarché et à la ferme. El-Safey et Abdul-Raouf (2003) ont analysé 452 échantillons d'aliments à Assuit City et au village de Abou El-Shukf (Bohiera Governorate), collectés également au niveau d'abattoirs, de supermarchés et de fermes. Ils ont détecté des STEC dans l'ordre de 17 souches sur 452 (3,7%). La prévalence est de 5% dans le lait de vache et de bufflonne, 5% dans le poulet, 4% dans le hamburger, 8% dans les saucisses, 5% dans les fromages, 4% en kushery et 4,6% sur l'ensemble de vente au détail, de la viande de dinde, d'agneau. En Afrique centrale, bien que la cause des épidémies ne soit pas nettement définie, au Cameroun, en Centrafrique et au Congo, on attribue la source de contamination humaine au zébu (*Bos indicus*) fumé et à l'eau (Germani et al., 1997 ; 1998 ; Cunin et al., 1999 ; Koyange et al., 2004). La conclusion résultant de l'étude de Olorunshola et al. (2000) attribue la source d'infection aux STEC survenus au Nigeria à cette époque, à des fast food confectionnés dans des restaurants locaux appelés *Bukkas*. En Côte d'Ivoire, Dadie et al. (2000), ont isolé deux souches de *E. coli* O157 (O157: NM et O157:H7), dont une provenait de poulet, sur un total de 1 780 produits alimentaires analysés (0,05%). Des études plus récentes rapportent des prévalences de 0,3% dans les produits laitiers (Benkeroum et al., 2004), de 5,2% dans des cubes de viande et de 2,3% dans des saucisses fraîches (Magwira et al., 2005). L'étude de Grace et al. (2008) relative à l'évaluation des risques à *E. coli* O157:H7 dans du lait non pasteurisé vendu dans certains pays d'Afrique de l'Est, a révélé qu'on peut s'attendre à 2 ou 3 symptômes d'infection à STEC, pour 10 000 l de lait non pasteurisé consommés. Analysant la qualité bactériologique des crèmes glacées à Tripoli en Lybie, El-Sharef et al. (2006) ont détecté *E. coli* O157 dans 1,2% des échantillons. Benard et al. (2009) ont recherché *E. coli* O157:H7 dans 180 échantillons de viande et de produits carnés divers. *E. coli* O157:H7 a été isolé de 5 échantillons (2,7%) sur un total de 180. Les produits carnés et laitiers représentent les véhicules préférentiels des ces germes en Afrique.

La particularité est que sur la liste des produits classiquement répertoriés, apparaissent des aliments de production locale comme Kushari en Égypte (El-Safey, Abdul-Raouf, 2003), du zébu fumé en Centrafrique (Germani et al., 1997 ; Tuyet et al., 2006) et de repas des restaurants *Bukka* (Olorunshola et al., 2000) au Nigeria.

### 3.3. L'infection à STEC et son incidence en Afrique

La toute première épidémie à STEC survenue au Swaziland et dans les contrées de Mpumalanga et Kwazulu-natal a affecté 40 912 personnes avec un taux d'incidence estimé à 42% parmi 778 résidents (Effler et al., 2001). À Ngoïla au Cameroun, une épidémie à STEC a touché 298 personnes et fait 45 morts (16,4%) (Cunin et al., 1999). En Centrafrique, l'épidémie survenue en 1996 a été fatale dans 3,7% des cas (Germani et al., 1997). Dans six districts de Kinshasa en République Démocratique du Congo, 463 enfants d'âge inférieur à



15 ans, ont été victimes de manifestations digestives (diarrhées) à STEC dans la période de juillet à septembre 2003 (Koyange et al., 2004). Selon les mêmes auteurs, cette épidémie a été fatale pour 66 petits enfants. Galane et Le Roux (2001) ont effectué une étude épidémiologique afin d'identifier les agents étiologiques de diarrhées dans la région de Gouteng en Afrique du Sud. La fréquence d'isolement de *E. coli* O157:H7 était de 7,7% sur un total de 151 isolats provenant de patients diarrhéiques.

Dans le cas de l'Égypte (Abdul-Moeze, pers. comm.), la consommation de hamburgers (*koshari*) et de produits laitiers contaminés, a provoqué la mort de 3 enfants et une sévère diarrhée chez 6 personnes. Ogunsanya et al. (1994) qui les premiers ont décrit l'affection à EHEC (O157:H7) chez des enfants de moins de 5 ans au Nigeria, relèvent une prévalence de 5,1%. Dans le même pays, Okeke et al. (2000) ont effectué une étude sur 187 enfants diarrhéiques, dans le Sud-Ouest du Nigeria et ont isolé des *E. coli* entérohémorragiques de l'ordre de 0,6%. Une étude semblable effectuée dans le même pays sur une population d'adultes manifestant une diarrhée aiguë a donné une prévalence de 20,4% (Okeke et al., 2003).

Il se peut que ces données ne représentent seulement qu'une partie de la réalité; l'incidence réelle des STEC sur les populations africaines est probablement plus importante, si on tient compte du fait que ces bactéries ne sont pas recherchées dans plusieurs pays, ou que les méthodes utilisées ne permettent pas de les isoler, ou encore en tenant compte des cas de sous-déclaration.

## 4. Caractéristiques des souches isolées en Afrique

### 4.1. Sérotype

À l'instar des autres régions dans le monde (Feng et al., 1998; Reid et al., 2000), *E. coli* de sérotype O157 est le plus fréquemment cité dans les diarrhées à STEC en Afrique. Des souches appartenant au sérotype O157 ont été isolées au cours des épidémies du Swaziland (Isaacson et al., 1993), de l'Afrique du Sud (Effer et al., 2001; Galane, Le Roux, 2001; Muller et al., 2001), du Malawi (Paquet et al., 1993), de l'Égypte (Abdul-Moeze, pers. comm.), du Kenya (Sang et al., 1996), de la République Centrafricaine (Germani et al., 1997; Tuyet et al., 2006), du Cameroun (Cunin et al., 1999), du Nigeria (Olorunshola et al., 2000) et de la République Démocratique du Congo (Koyange et al., 2004). Le sérotype a également été identifié dans de nombreux autres cas qui relevaient de contrôle ou de surveillance épidémiologique (Ogunsanya et al., 1994; Akinyemi et al., 1998; Dadie et al., 2000; Benard et al., 2009; Nesreen et al., 2009).

L'évolution des connaissances sur les *E. coli* entérohémorragiques, a permis de déceler plus d'une centaine de STEC non-O157:H7 (Clarke et al., 1994; Beutin et al., 1998; Mainil, Daube, 2005). Les infections à STEC non-O157:H7 seraient aussi ou parfois même plus fréquentes que celles suscitées par le sérotype O157:H7 et représentent 80% des gastroentérites tel que indiqué par la base de données de surveillance nationale en Allemagne (RKI, 2008; Werber et al., 2008). Les sérotypes O5, O26:H11, O55, O91, O113:H26, O111:NM, O111:H21, O103:H2, O113 sont le plus souvent isolés au cours des intoxications alimentaires chez les malades (Germani, 1995; Armstrong et al., 1996). Le CDC (2006) a estimé au cours d'une surveillance, la fréquence de sérotypes non-O157:H7 respectivement à 32% pour O26; 31% pour O103 et 20% pour O111. L'AFSSA (2005) recommande de tester au cours de la recherche des STEC (autre O157), les 25 sérogroupes non-O157 que sont O1, O2, O4, O5, O9, O25, O26, O29, O55, O100, O103, O104, O105, O111, O112, O113, O115, O118, O127, O128, O136, O145, O153, O163, O164.

Les STEC non-O157:H7 sont très peu documentés en Afrique. Parmi quelques travaux qui rapportent de telles données, on trouve ceux de Okeke et al. (1999; 2003) au Nigeria qui ont identifié les sérotypes O33:H34, O121:H-, O26 et O111. Les sérotypes O26 et O111:HNM ont également été détectés en Afrique du Sud respectivement par Charimba (2004) et Musafiri et Carlton (2013). Selon Greyling (1998), de façon classique, la liste de sérotypes, O18, O26, O55,

O111, O119, O126, O86, O114, O125, O127, O128, O44, O112, O124 et O142 sont isolés au cours des diarrhées en Afrique du Sud. On retrouve dans cette liste, des sérotypes précédemment cités et ceux figurant sur la liste établie par Bopp (2003). On peut ainsi remarquer qu'en dehors de ceux qui sont assez particuliers, des sérotypes semblables à ceux impliqués dans les épidémies à STEC non-O157:H7 dans d'autres régions du monde, sont mis en évidence en Afrique, montrant ainsi que certains STEC non-O157:H7, connaissent une large extension géographique comme le sérotype O157:H7. Cependant, selon Hiko et al. (2008), de nombreux sérotypes de STEC ne sont pas recherchés en Afrique à cause des limites du point de vue diagnostique de laboratoire.

## 4.2. Facteurs de virulence

Les facteurs de virulence majeurs, spécifiques aux STEC sont la production d'une Shiga-toxine de type 1 ou 2 ou de leurs dérivés, Stx1c, Stx1d, Stxe ou Stx2v, Stx2va, Stx2vb, Stx2c, Stx2ev et Stx2vp (Strockbine et al., 1986; Lin et al., 1993; Bastian et al., 1998; Nakao et al., 2002; Zhang et al., 2002; Bürk et al., 2003). Par ailleurs, les STEC produisent également une intimine exprimant le facteur d'attachement-effacement, eaeA et d'une entérohémolysine, ehly. Parmi les travaux effectués en Afrique, quelques auteurs se sont limités à la détermination du sérotype O157:H7 ou à l'épreuve des souches isolées sur lignée cellulaire (Vero) pour caractériser les STEC ou les EHEC (Olorunshola et al., 2000; Hiko et al., 2008; Smith et al., 2009). Cependant, des données existent quant aux facteurs de virulence hébergés par les STEC mis en évidence en Afrique. Le gène contrôlant la Shiga-toxine2 (stx2) est le plus fréquemment détecté chez la plupart des souches isolées (Isaacson et al., 1993; Effler et al., 2001; Dadie et al., 2000; Okeke et al., 2003; Mohlatlole et al., 2013). Une telle constatation avait déjà été faite au cours de travaux précédents (Keskimäki et al., 1998; Paton et Paton, 1999; Stephan et al., 2000). Les souches isolées (23) chez 113 patients adultes diarrhéiques dans le sud-ouest du Nigeria par Okeke et al. (2003) ne possédaient que le facteur stx2. C'est également le cas des souches isolées en Côte d'Ivoire (Dadie et al., 2000) et en Guinée-Bissau (Palet et al., 2003).

Par contre, l'ensemble des facteurs de virulence majeurs, stx1, stx2, eae, ehly sont détectés chez les souches au cours des travaux effectués par Al-Gallas et al. (2007). De même, en Algérie au niveau de souches isolées de carcasses de bovins (Chaheb et al., 2007), la majorité des pathovars (78 %) présentaient les facteurs stx1, stx2, eae et ehxA, dont deux possédaient stx1, stx2, eae, ehxA, un stx1, eae, ehxA et deux autres eae, ehxA. Mohlatlole et al. (2013) ont détecté des STEC à stx2e chez le porc en Afrique du Sud. Dans de nombreuses autres études (Cunin et al., 1999; Koyange et al., 2003; Obi et al., 2004), seuls les gènes contrôlant la production de toxines Stx1 et Stx2 ont été détectés. Généralement, les études ne spécifient pas les variants de stx1 ou de stx2, qui ne sont pas nécessaires pour confirmer le caractère STEC (de virulence ou toxique), mais plutôt informent sur le type ou la spécificité de Shiga-toxine produite. Il en est de même des travaux réalisés en Afrique.

## 4.3. Profil de résistance

De façon générale, ailleurs comme en Afrique, de nombreuses études indiquent une évolution des résistances de *E. coli* à plusieurs antibiotiques (Dadie et al., 2003; Coque et al., 2008; Souli et al., 2008; Guessennd et al., 2008). Le système européen de surveillance des résistances aux antimicrobiens (EARSS) a rapporté, suite à une analyse effectuée sur 29 pays de 2001 à 2005 et ceci au travers du European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC, 2009), que la résistance de *E. coli* aux fluoroquinolones varie de 5 à 50 %. Dans le même environnement, des souches de *E. coli* résistantes par la production de  $\beta$ -lactamases à large spectre (BLSE) ont été caractérisées (Reinert et al., 2007; Livermore et al., 2007; Canton et al., 2008). Des cas de résistance de *E. coli* aux antibiotiques ont été rapportés en Côte d'Ivoire (Dadie et al., 2003; Guessennd et al., 2008), au Sénégal (Gassama et al., 2001),

en Afrique du Sud (Benard et al., 2009), en Éthiopie (Hiko et al., 2008), en Afrique du Nord (Dow et al., 2006). En toute logique, cette évolution des résistances s'étend aux STEC comme l'ont signifié plusieurs auteurs ces 20 dernières années (Kim et al., 1994; Galant et al., 2001; Schroeder et al., 2002; Wilkerson et al., 2004). Dans le cas des études effectuées en Afrique, une multirésistance à deux, trois voire plusieurs antibiotiques a été observée au niveau de 7/31 (22,6%) souches de *E. coli* O157:H7 isolées de viande fraîche en Éthiopie (Hiko et al., 2008).

Au Maroc (Beneduce et al., 2008), plus de 70% de souches comprenant des STEC présentaient des résistances aux antibiotiques. Deux souches de *E. coli* O157:H7 dans les isolats de Benard et al. (2009) (Afrique du Sud), résistaient à huit antibiotiques. La résistance aux antibiotiques des STEC concerne le plus fréquemment les  $\beta$ -lactamines notamment ampicilline, amoxicilline, céfalotine, mais aussi et dans une moindre mesure, tétracyclines, chloramphenicol (Tableau 2). L'antibiothérapie n'est généralement pas recommandée au cours du traitement des infections à STEC à cause des complications graves que cela peut susciter (Mead, Griffin, 1998; Wong et al., 2000). Cependant, au cours de l'épidémie survenue au Cameroun, liée à des STEC et *Shigella*, le constat a été que le taux de mortalité était plus élevé (53,5%) pour des personnes qui n'avaient pas reçu de traitement antibiotique, que pour celles (3,7%) qui avaient reçu du cotrimoxazole, metronidazole, chloramphenicol ou tetracycline (Cunin et al., 1999); ce qui montre l'intérêt du suivi de l'évolution des résistances chez les STEC.

**Tableau 2.** Caractères de pathogénicité de STEC isolés en Afrique.

Facteurs de virulence	Pathologies (symptômes)	Prévalence STEC (%)	Résistance	Références
Stx1, stx2	Bloody diarrhoea/ Patients	42%		Effer et al., 1992
	Diarrhoea/Patients	9%		Obi et al., 2004
	Diarrhoea	7,7%		Arimi et al., 2005
			Amp, KF, S, TE, W	Hiko et al., 2008
Stx1, stx2 eae, ehly	Diarrhoea/Adult	10,4%	$\beta$ -lactam, S,	Al-Gallas et al., 2007
	Diarrhoea/Children	11,4%	Amx, Sf, TE	
	Diarrhoea/Children (180)	1,2%		Okeke et al., 2001
Stx2	Acute diarrhoea/ Adult	20,4%		Okeke et al., 2003
	Diarrhoea/Patients (100)	6%		Olorunshola et al., 2000
	5 childrens			
ND	Diarrhoea/ Children < 5 years	5,1%	ND	Ogunsanya et al., 1994
	Acute diarrhoea/ Patients	8,4%		Akinyemi et al., 1998
Stx1, stx2, eae	Bloody diarrhoea outbreak (298°)	16,4% (22 villages) 45 death	AmX, C, CF	Cunin et al., 1999
Stx2, eae	Diarrhoea/Patients		Amp, TE, C	Dadié et al., 2000
Stx1, stx2	Diarrhoea		Amp, SXT	Koyange et al., 2003
Stx1, stx2	Diarrhoea/Children (2 years)	1%	ND	
Stx, eaeA	Raw meat	9%	Amp, AMC	Beneduce et al., 2008

Amikacine (AK) (30  $\mu$ g), ampicilline (Amp) (10  $\mu$ g), céphalothine (KF), (30  $\mu$ g), chloramphénicol (C) (30  $\mu$ g), gentamicine (CN) (10  $\mu$ g), kanamycine (K) (30  $\mu$ g), nalidixic acid (30  $\mu$ g) (NA), norfloxacin (NOR) (10  $\mu$ g), polymyxine B (PB) (300 units), streptomycine (S) (10  $\mu$ g), triméthoprim (W) (5 $\mu$ g), triméthoprim-sulphaméthoxazole (SXT) (25  $\mu$ g) and tetracycline (TE), amoxicilline (Amx), amoxicilline-acide clavulanic (AMC), sulfamide (Sf), cefsulodine (CF) multirésistance (MtR).

#### 4.4. Méthodes de détection et de caractérisation

*E. coli* est un hôte normal du tube digestif de l'homme et des animaux à sang chaud (Leclerc, 1993 ; Le Minor, Richard, 1993). Les méthodes classiques pour l'isolement et l'identification de l'espèce ne permettent pas de distinguer les souches commensales des souches virulentes. Une recherche des facteurs de virulence est donc systématiquement effectuée ; ce qui fait appel à des techniques immunologiques, de culture *in vitro* sur lignée cellulaire permissive, d'utilisation de sondes nucléiques pour une hybridation spécifique ou de réaction de polymérisation en chaîne (PCR) qui peut être associée à une restriction enzymatique dans le cadre d'un sous-typage des souches. À cause de l'exigence particulière de ces techniques qui sont pour la plupart lourdes, coûteuses et nécessitant un personnel hautement qualifié, très peu de laboratoires recherchent les STEC en routine. Des auteurs ont relevé la faiblesse de cette opération aux USA, surtout pour les STEC non-O157 (MMWR, 1993 ; Boyce et al., 1995 ; Fairbrother, Nadeau, 2006). Une enquête qui a investigué sur la capacité et la fréquence de détection des STEC par les laboratoires, a révélé que la recherche de ces bactéries reste peu pratiquée en France (Espié et al., 2003).

De même, les STEC ne sont pas souvent recherchés en routine en Afrique eu égard à la modestie des capacités de diagnostic biologique de plusieurs laboratoires (De Valk, Declud, 1997 ; Wittenberg, 1999 ; Hiko et al., 2008). La conséquence est que d'une part, plusieurs infections peuvent ne pas être identifiées (Wittenberg, 1999 ; WHO, 2005) et d'autre part, probablement, des infections à STEC sont attribuées à *Shigella* (Aragon et al., 1993 ; Malakooti et al., 1997), qui au plan clinique suscite un syndrome analogue à celui des STEC, notamment une diarrhée.

Dans les pays où les STEC ont été isolés en Afrique, des méthodes conventionnelles ou normalisées ont été utilisées. Il s'agit notamment d'isolement le plus souvent sur milieu sélectif pour *E. coli* O157:H7, SMAC ou CTSMAC (Germani et al., 1997 ; Cunin et al., 1999 ; Tuyet et al., 2006), Chromogenic-Agar (Dadie et al., 2000 ; Muller et al., 2001) ou sur milieux pour enterobactéries Mc Conkey, BCP, MUG-Agar, pétrifilm (Al-Gallas et al., 2007 ; Chahed, 2007). Muller et al. (2001), au cours d'une investigation pour la détection de *E. coli* O157:H7 dans des échantillons d'eau en Afrique du Sud, ont utilisé une gélose chromogénique de type Rainbow agar O157 medium. De façon générale, l'isolement est suivi d'identification par des méthodes classiques de bactériologie, par la détermination de caractères biochimiques (Germani et al., 1997 ; Dadie et al., 2000 ; Cohen et al., 2008 ; Badri et al., 2009a). La caractérisation par la recherche de facteurs de virulence s'est effectuée pour plusieurs études, par réaction de polymérisation en chaîne (PCR) (Tableau 4), mais aussi par sonde ou hybridation génétique (Kaddu-Mulindwa et al., 2001 ; Valentiner-Branth et al., 2003 ; Okeke et al., 1999 ; 2000 ; 2003). Un total de 87 souches ont été caractérisées par Kaddu-Mulindwa et al. (2001) en utilisant le test ELISA pour la détection de toxines. Dans d'autres, l'isolement sur milieux sélectifs est combiné à la technique ELISA et à la séparation immunomagnétique (IMS) pour l'isolement des souches dans l'eau (Müller et al., 2003).

La technique de culture *in vitro* qui permet de déterminer le pouvoir pathogène par épreuve sur cellules permissives Véro (caractère vérotoxigène) ou le caractère phénotypique des souches, est pratiquée au cours de plusieurs études (Tableau 3). Certaines méthodes de typage ou sous-typage (ELISA GB3) ne sont que peu utilisées, soit par des laboratoires spécialisés en Afrique (Cunin et al., 1999 ; Effler et al., 2001) ou relèvent d'une expertise (IMS, VIDAS, PCR-RFLP, PFGE), le plus souvent à l'extérieur du continent, en Belgique (Chaheb, 2007), au Centre National de Référence (CNR) des bactéries émergentes à l'Institut Pasteur de Paris (Cohen et al., 2008 ; Badri et al., 2009a).

**Tableau 3.** Méthodes de détection des STEC en Afrique.

Milieu isolation-identification	Sérotype	Méthodes de détection	Références (pays)
SMAC, Mc Conkey, BCP, MUG	+ (O157)	Cell culture, ELISA Gb3, PCR	Cunin et al., 1999 (Cameroun)
SMAC, Mc Conkey, BCP	+++	ELISA, DNA hybridization	Kaddu-M et al., 2001 (Ouganda)
SMAC, Mc Conkey, BCP	+++	PCR, PFGE	Beneduce et al., 2008 (Maroc)
	+++ (opO, fliC)	PCR, PCR-RFLP, PFGE	Cohen et al., 2008 ; 2009 (Maroc)
SMAC, BCP, Mc Conkey	+++	Cell culture, PCR	Germani et al., 1997 (Rép. Centr. Afr.)
SMAC, ChromoAgar, VR-MUG	+ (O157)	Cell culture, PCR	Dadie et al., 2000 (Côte d'Ivoire)
?	+++	Cell culture, PCR	Petronella et al., 2001 (Afrique du Sud)
Mc Conkey, SMAC, Api 20E	++	Cell culture, PCR, PFGE	Al-Gallas et al., 2007 (Tunisie)
	ND	DNA colony-hybridization	Pallet et al., 2003 (Guinée-Bissau)
SMAC	++	Cell culture, PCR	Koyange et al., 2003 (R.D. Congo)
Mc conkey, EMB, Nut., Agar + erythrocytes	+++	Cell culture, colony blot and DNA hybridization	Okeke et al., 1999 ; 2000 ; 2003 (Nigeria)
SMAC, petrifilm <sup>TM</sup> kit, E. coli rapid	++	IMS, VIDAS Eco, PCR, An. Method SP-VGM001	Chaheb, 2007 (Algérie)

+ : O157 seul, ++ : O157 et autres sérotypes de STEC ; +++ : sérotype de STEC et de non-STECC ; PCR : polymérase chain reaction ; opO : gène de l'opéron O ; fliC : gène fliC.

Au cours de l'épidémie survenue au Swaziland, le diagnostic biologique des STEC responsables a été effectué en Afrique du Sud (Effler et al., 2001) et selon Frean et al. (2003) la majorité des données relatives aux maladies d'origine alimentaire, dans la partie sud de l'Afrique, provient de l'Afrique du Sud.

Le renforcement des capacités des laboratoires en Afrique est donc d'une importante préoccupation. Guerin et al. (2007) estiment que l'OMS ou d'autres partenaires internationaux doivent sensibiliser les différents ministères de santé et sécurité des aliments, dans le but de relever les capacités des laboratoires et former le personnel pour l'identification et la détection des agents de maladies émergentes et réémergentes.

#### 4.5. Veille microbiologique : surveillance nationale et transnationale

Les structures spécialisées de surveillance nationale des STEC sont rares en Afrique. Il existe un mécanisme de surveillance nationale des *Salmonella*, *Shigella*, *E. coli* notamment, l'unité de référence des maladies entériques ou *Enteric Disease Reference Unit* (EDRU), une sous-unité du *National Institute for Communicable Diseases* (NICD), qui régulièrement effectue une caractérisation et surveillance des maladies entériques en Afrique du Sud (NICD, 2006 ; 2008). À partir de 2002, a été créé en Côte d'Ivoire, l'Observatoire de la Résistance des Micro-organismes aux anti-Infectieux (ORMICI) ; structure spécialisée pour suivre l'évolution des résistances et qui assure une documentation et une communication sur les caractères bactériologiques et moléculaires d'agents infectieux et donc en particulier des *E. coli* pathogènes. Un Centre de Surveillance pluri-pathologique (OMS-MDSC) a été mis en place depuis 2002 à Ouagadougou, au Burkina-Faso à l'initiative de l'OMS. De même, avec le soutien de l'OMS et du CDC (USA), un programme régional d'intervention épidémiologique



et de renforcement des capacités des laboratoires en Afrique de l'Ouest (WA-FELTP) a été établi pour 4 pays notamment, Burkina Faso, Mali, Niger et Togo et sert d'outil de surveillance et de lutte contre les épidémies (Hounton, 2009).

Pour plusieurs pays, l'assistance en matière de surveillance se fait via l'Organisation Mondiale de la Santé ou la FAO (OMS, 2007 ; WHO, 2010). L'épidémie à STEC de Ngoïla, au Cameroun a bénéficié de l'assistance de l'OMS (Cunin et al., 1999). Il en est de même pour certains travaux de contrôle au sud, est, centre et ouest de l'Afrique. En outre, plusieurs pays membres, bénéficient de l'expertise du réseau des Instituts Pasteurs et Instituts associés.

C'est le cas du Maroc, de la Tunisie, du Sénégal, de la Côte d'Ivoire, de la République Centrafricaine, du Cameroun, de Madagascar (Germani et al., 1997 ; Cunin et al., 1999 ; Koyange et al., 2004). Les épidémies survenues en Centrafrique, au Congo, au Cameroun et la caractérisation des STEC en Côte d'Ivoire, en Tunisie et au Maroc ont bénéficié de l'assistance des instituts Pasteur locaux ou régionaux (Dadie et al., 2000 ; Al-Gallas et al., 2007 ; Badri et al., 2009a ; 2009b).

Les dispositifs évoqués, ne comblent pas l'importance des besoins en matière de surveillance, tels que relevés précédemment par plusieurs auteurs, relativement au continent africain (Henson, 2003 ; Todd, 2006). En effet, Chaheb (2007) relève qu'en Algérie, il n'existe aucun plan officiel de surveillance des agents zoonotiques. De plus, selon Frean et al. (2003) et Todd (2006), aucun pays de la partie sud de l'Afrique (Botswana, Lesotho, Mozambique, Namibie, Swaziland, Zambie, Zimbabwe et l'Afrique du Sud), n'a accès à une information adéquate dans le cadre de la surveillance. Les mêmes auteurs ont rapporté que les ressources d'investigation des épidémies seraient très limitées en Afrique. Les raisons évoquées sont les fréquentes guerres civiles, les conflits entre nations occasionnant des déplacements de population, qui ne favorisent pas la mise en place d'un système de surveillance ou de maîtrise des agents épidémiogènes.

L'alternative pour la maîtrise des agents des maladies infectieuses et en particulier, des STEC est, selon les recommandations de l'OMS/FAO, la mise en place de stratégies de surveillance à portée nationale voir transnationale (OMS/FAO, 2008 ; FAO, 2009).

Le CDC d'Atlanta (2006), se basant sur les données issues de FoodNet, indique une réduction de l'incidence de *E. coli* O157:H7 de 29 %, de la période de 1996 à 2005 et Naugle et al. (2005 ; 2006), lient cette réduction à la mise en place de nouvelles structures de régulation ou de surveillance. Ainsi, un réseau de surveillance nationale basé sur les laboratoires a été établi, permettant une communication sur les zoonoses et les questions liées à la santé publique et la recherche (Lopman et al., 2002 ; Fisher, Threlfall, 2005). Le *Centre for Disease Control and Prevention* (CDC Atlanta), l'*European Centre for Disease Prevention and Control* (ECDC) et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) assurent pour les populations européennes et américaines, la surveillance par la centralisation et la divulgation périodiques des données épidémiologiques sur les STEC. D'autres systèmes de surveillance européens (Eternet), japonais et australiens existent (FAO/WHO, 2003). En Afrique, seul l'Afrique du Sud appartient à Eternet. Aucune structure n'assure la surveillance transnationale à la dimension des organismes évoqués ; or, avec le développement des échanges, des voyages, les agents infectieux n'ont pas une localisation régionale, mais plutôt mondiale. Une surveillance épidémiologique efficace pour la maîtrise des infections et les agents associés, nécessite non seulement la mise en place de structures spécialisées là où besoin est, mais aussi et en accord avec Guerin (2007), une communication entre les différents centres de surveillance. Doter l'Afrique d'un organisme de surveillance spécialisé des STEC couvrant tout le continent et en relation avec ceux qui existent en Europe et aux USA est donc une urgence.

## 5. Conclusion

Les travaux effectués ces 22 dernières années dans l'environnement africain, permettent d'établir un aperçu de la situation des STEC en Afrique. Cependant, on sait peu sur l'épidémiologie, l'importance ou l'incidence réelle de ces pathovars sur les populations du continent, à cause certainement de la réduction des capacités de détections des laboratoires et la déficience en stratégies de surveillance dans plusieurs pays. L'intervention ponctuelle d'organismes internationaux spécialisés ne permettant pas de prévenir, maîtriser efficacement et durablement les épidémies d'origine alimentaire liées aux STEC, la mise en place de centres de surveillances pour la documentation des agents infectieux et le développement de la communication y afférent est d'une grande nécessité.

## Bibliographie

- Abdul-Raouf U.M., Farag S.A., Ammar M.S., 1996a. Fate of Enterohemorrhagic *E. coli* O157:H7 in commercial Koshari, Assuit. *Journal of Agricultural Science*, **27**,141-153.
- Abdul-Raouf U.M., Ammar M.S., Beachat L.R., 1996b. Isolation of *E. coli* from some Egyptian foods. *International Journal of Food Microbiology*, **29**, 423-426.
- Abe H., Tatsuno I., Tobe T., Okutani A., Sasakawa C., 2002. Bicarbonate ion stimulates the expression of locus of enterocyte effacement-encoded genes in enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7. *Infection and Immunity*, **70**, 3500-3509.
- Agbodaze D., 1999. Verocytotoxins (Shiga-like toxins) produced by *Escherichia coli*: a mini review of their classification, clinical presentations and management of a heterogeneous family of cytotoxins. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, **22**(4), 221-230.
- Agbodaze D., Abrahams C.A., Arai S., 1988. Enteropathogenic and enterotoxigenic *Escherichia coli* as aetiological factors of infantile diarrhoea in rural and urban Ghana. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, **82**, 489-491.
- Agbodaze D. et al., 2005. Microbiological quality of «khebab» consumed in the accra metropolis. *Ghana Medical Journal*, **39**(2), 46-49.
- Akinyemi K.O., Oyefolu A.O., Opere B., Otunba-Payne V.A., Oworu A.O., 1998. *Escherichia coli* in patients with acute gastroenteritis in Lagos, Nigeria. *East African Medical Journal*, **75**, 512-515.
- Ako-Nai A.K., Lamikanra A., Ola O., Fadero F.F., 1990. A study of the incidence of enterotoxigenic *Escherichia coli* (ETEC) secreting heat-labile toxin in two communities in southwestern Nigeria. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, **93**, 116-118.
- Al-Gallas N., Bahri O., Bouratbeen A., Haasen A.B., Ridha B.A., 2007. Etiology of Acute Diarrhea in Children and Adults in Tunis, Tunisia, with Emphasis on Diarrheagenic *Escherichia coli*: Prevalence, Phenotyping, and Molecular Epidemiology. *The American Society of Tropical Medicine and Hygiene*, **77**(3), 571-582.
- Aragon M., Barreto A., Chambule J., Noya A., Tallarico M., 1993. Shigellosis in Mozambique: the outbreak rehabilitation – a follow-up study. *Tropical Doctor*, **25**, 159-162.
- Arimi S.M. et al., 2000. Risk of infection from *E. coli* O157:H7 through informally marketed raw milk in Kenya. In : *3rd All Africa Conference on Animal Agriculture*, 6-9 November 2000.
- Arimi S.M., Koroti E., Kang'ethe E.K., Omere A.O., McDermott J.J., 2005. Risk of infection with *Brucella abortus* and *Escherichia coli* O157:H7 associated with marketing of unpasteurized milk in Kenya. *Acta Tropica*, **96**(1), 1-8.
- Armstrong G.L., Hollingsworth J., Morris J.G., 1996. Emerging foodborne pathogens: *Escherichia coli* O157:H7 as a model of entry of a new pathogen into the food supply of the developed world. *Epidemiologic Reviews*, **18**, 29-50.
- Ateba C.N., Mbewe M., Bezuidenhout C.C., 2008. Prevalence of *Escherichia coli* O157 strains in cattle, pigs and humans in North West province, South Africa. *South African Journal of Science*, **104**, 1-2.



- Badri S., Fassouane A., Filliol I., Hassar M., Cohen N., 2009a. Molecular typing of *Escherichia coli* strains isolated from food in Casablanca (Morocco). *Cellular and Molecular Biology*, **55**, 1132-1137.
- Badri S., Ingrid F., Carle I., Hassar M., Fassouane A., Cohen N., 2009b. Prevalence of virulence genes in *Escherichia coli* isolated from food in Casablanca (Morocco). *Food Control*, **20**(6), 560-564.
- Bastian S.N., Carle I., Grimont F., 1998. Comparison of 14 PCR systems for the detection and subtyping of stx genes in shigatoxin-producing *Escherichia coli*. *Research in Microbiology*, **149**, 457-472.
- Benard O., Abong O.A., Maggy N.B., Momba B., 2009. Prevalence and characterization of *Escherichia coli* O157:H7 isolates from meat and meat products sold in Amathole District, Eastern Cape Province of South Africa. *Food Microbiology*, **26**, 173-176.
- Beneduce L. et al., 2008. Occurrence and characterization of *Escherichia coli* O157 and other serotypes in raw meat products in Morocco. *Journal of Food Protection*, **71**(10), 2082-2086.
- Benkerroum N., Bouhlal Y., El Attar A., Marhaben A., 2004. Occurrence of shiga toxin-producing *Escherichia coli* O157:H7 in selected dairy and meat products marketed in the city of Rabat, Morocco. *Journal of Food Protection*, **67**, 1234-1237.
- Beutin L., 1991. The different hemolysins of *E. coli*. *Medical Microbiology and Immunology*, **180**, 167-182.
- Beutin L. et al., 1989. Close association of Verotoxin (Shiga-like toxin) production with enterohemolysin production in strains of *E. coli*. *Journal of Clinical Microbiology*, **27**, 2559-2564.
- Beutin L., Geier D., Steinruck H., Zimmermann S., Scheutz F., 1993. Prevalence and some properties of verotoxin (Shiga-like toxin)-producing *Escherichia coli* in seven different species of healthy domestic animals. *Journal of Clinical Microbiology*, **31**(9), 2483-2488.
- Beutin L., Zimmerman S., Gleier K., 1998. Human infections with Shiga toxin producing *Escherichia coli* other than serogroup O157 in Germany. *Emerging Infectious Disease*, **4**, 635-639.
- Bonfoh B. et al., 2003. Microbiological Quality of Cows' Milk Taken at Different Intervals from the Udder to the Selling Point in Bamako (Mali). *Food Control*, **14**, 495-500.
- Bopp C.A., Brenner F.W., Fields P.I., Wells J.G., Strockbine N.A., 2003. *Escherichia*, *Shigella*, and *Salmonella*. In: Murray P.R., Baron E.J., Jorgensen J.H., Tenover F.C., Tenover P.C. (eds). *Manual of Clinical Microbiology*. (8<sup>th</sup> ed). American Society for Microbiology Press, Washington, DC., p. 654-671.
- Boyce T.G., Swerdlow D.L., Griffin M.P., 1995. *Escherichia coli* O157:H7 and the hemolytic-uremic syndrome. *The New England Journal of Medicine*, **333**(6), 364-368.
- Browning N.G., Botha J., Sacho H., Moore P.J., 1990. *Escherichia coli* O157:H7 haemorrhagic colitis. Report of the first South African case. *South African Surgical Journal*, **28**, 28-29.
- Bürk C., Dietrich R., Açar G., Moravek M., Bülte M., Märklbauer E., 2003. Identification and characterization of a new variant of Shiga toxin 1 in *Escherichia coli* O157:H19 of bovine origin. *Journal of Clinical Microbiology*, **41**, 2106-2012.
- Calundungo R., Maddau G., Rappelli P., Cappuccinelli P., Leite F., Francisco M., Colombo M., 1994. *Escherichia coli* and enteritis in Angola. *The Lancet*, **344**, 538-539.
- Cantón R., Novais A., Valverde A., Machado E., Peixe L., Baquero F., Coque T.M., 2008. Prevalence and spread of extended-spectrum beta-lactamase-producing Enterobacteriaceae in Europe. *Clinical Microbiology and Infection*, **14**(1), 144-153.
- Caprioli A., Morabito S., Brugère H., Oswald E., 2005. Enterohaemorrhagic *Escherichia coli*: emerging issues on virulence and modes of transmission. *Veterinary Research*, **36**, 289-311.
- CDC, 2006. Preliminary FoodNet data on the incidence of infection with pathogens transmitted commonly through food-10 states, United States. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, **55**(14), 392-395.
- CDSC, 1996. *Escherichia coli* O157 infection acquired in the laboratory. *Communicable Disease Report*, **6**, 2234.
- CDSC, 2000. Outbreak of VTEC O157 in South Yorkshire. *Communicable Disease Report*, **10**, 359.
- Chahed A., 2007. *Prévalence et caractérisation de souches de Escherichia coli O157 productrices de shigatoxines isolées de denrées alimentaires d'origine animale en Belgique et en Algérie*. Thèse de Doctorat en Médecine Vétérinaire, Université de Liège, Belgique, 91 p.

- Charimba G., 2004. *The Incidence, Growth and Survival of Diarrhoeagenic Escherichia coli in South African Meat Products*. Master of Science (Food Microbiology). Faculty of Natural and Agricultural Sciences University of the Free State, 146 p.
- Clarke R.C. et al., 1994. Verocytotoxin- producing *Escherichia coli* (VTEC) in the food chain: Preharvest and processing perspectives. In: Karmali M.A., Goglio A.G. (eds). *Recent Advances in Verocytotoxin-Producing Escherichia coli Infections*. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands, 17-24.
- Cohen N. et al., 2008. Microbial quality control of raw ground beef and fresh sausage in Casablanca (Morocco). *Journal of Environmental Health*, **71**(4), 51-55.
- Coque T.M., Baquero F., Canton R., 2008. Increasing prevalence of ESBL-producing enterobacteriaceae in Europe. *Eurosurveillance*, **13**(47). pii=19044. <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19044>
- Cunin P. et al., 1999. An epidemic of bloody diarrhoea: *Escherichia coli* O157 emerging in Cameroon. *Emerging Infectious Disease*, **5**, 285-290.
- Dadie A., Karou T., Adom N., Kette A., Dosso M., 2000. Isolation of enteric pathogenic agents in Cote d'Ivoire: *Escherichia coli* O157:H7 and enteroaggregative *Escherichia coli*. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, **93**, 95-96.
- Dadie A., Guessennd N., Tiekoura B., Faye-Kette H., Dosso M., 2003. Résistance aux  $\beta$ -Lactamines de *Escherichia coli* d'origine alimentaire et humaine isolés à Abidjan. *Journal des sciences pharmaceutiques et biologiques*, **4**(1), 62-69.
- De Valk H., Decludt B., 1997. *Diagnostic des infections à E. coli entérohémorragiques (EHEC) : enquête auprès des laboratoires hospitaliers de bactériologie*. Réseau national de santé publique, Saint Maurice, France, 22 p.
- Donnenberg M.S., Giron J.A., Nataro J.P., Kaper J.B., 1992. A plasmid-encoded type IV fimbrial gene of enteropathogenic *Escherichia coli* associated with localized adherence. *Molecular Microbiology*, **6**, 3427-3437.
- Dow M.A. et al., 2006. Phenotypic and genetic characterization of enteropathogenic *Escherichia coli* (EPEC) and enteroaggregative *E. coli* (EAEC) from diarrhoeal and non-diarrhoeal children in Libya. Comparative immunology. *Microbiology and infectious Diseases*, **29**(2-3), 100-113.
- ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control), 2009. The Community Summary Report on Food-borne Outbreaks in the European Union in 2007. *The EFSA Journal*, 271.
- Effler P. et al., 2001. Factors contributing to the emergence of *Escherichia coli* O157 in Africa. *Emerging Infectious Disease*, **7**, 812-819.
- El-Safey E., Abdul-Raouf U.M., 2003. Detection of *E. coli* O157:H7 in some Egyptian food. *Assiut Journal of Agricultural Science*, **36**(6), 373-377.
- El-Sayed A., Ahmed S., Awad W., 2008. Do camels (*Camelus dromedarius*) play an epidemiological role in the spread of Shiga Toxin producing *Escherichia coli* (STEC) infection? *Tropical Animal Health and Production*, **40**(6), 469-473.
- El-Sharef N., Ghenghesh K.S., Abognah Y.S., Gnan S.O., Rahouma A., 2006. Bacteriological quality of ice cream in Tripoli-Libya. *Food Control*, **17**(8), 637-641.
- Espié E., Leclerc C., 2003. Epidémiologie humaine des STEC. In : Vernozy Rozand C., Roze S. (eds). *Bilan des connaissances relatives aux Escherichia coli producteurs de Shiga-toxines (STEC)*. Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA), Maisson-Alfort, France, p. 61-80.
- Espié E., Vaillant V., 2003. *Toxi-infection collective Alimentaire à Escherichia coli producteurs de shigatoxines, Gironde Juin 2002*. Rapport d'investigation. Institut de Veille Sanitaire-Saint Maurice, France.
- Espié E.V., Vaillant F., Grimont P., Mariani-Kurkdjian P., 2003. *Enquête sur les méthodes de diagnostic des Escherichia coli entéropathogènes et des Escherichia coli entérohémorragiques dans les laboratoires d'analyses biologiques et médicales*. INvs-CNR E. coli-Shigella-Institut Pasteur Paris, CNR Hôpital Robert Debré, Paris, 28 p.
- Fairbrother J.M., Nadeau E., 2006. *Escherichia coli*: on-farm contamination of animals. *Revue Scientifique Technique Office International des Epizooties*, **25**(2), 555-569.

- FAO, 2009. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture*. Division de la communication, Rome.
- FAO/WHO, 2003. Risk profile for enterohemorrhagic *E. coli* including the identification of the commodities of concern, including sprouts, ground beef and pork. In: *Codex Alimentarius Commission, Codex Committee on Food Hygiene; thirty-fifth session, Orlando, U.S.A., 27 January – 1 February 2003, CX/FH 03/5-Add, 4*.
- Feng P., Lampel K.A., Karch H., Whittam T.S., 1998. Genotypic and phenotypic changes in the emergence of *Escherichia coli* O157:H7. *Journal of Infectious Disease*, **177**, 1750-1753.
- Fisher I.S., Threlfall E.J., 2005. The Enter-net and Salm-gene databases of foodborne bacterial pathogens that cause human infections in Europe and beyond: an international collaboration in surveillance and the development of intervention strategies. *Epidemiology and Infection*, **133**, 1-7.
- Frean J., Keddy K., Koornhof H., 2003. Incidence of foodborne illness in Southern Africa. In: Miliotis M.D., Bier J.W. (eds). *International Handbook of Foodborne Pathogens*. Marcel Dekker Inc, New York, pp. 703-710.
- Frenzen P.D., Drake A., Angulo F.J., 2005. Economic cost of illness due to *Escherichia coli* O157 infections in the United States. *Journal of Food Protection*, **68**(12), 2623-2630.
- Galane P.M., Le Roux M., 2001. Molecular epidemiology of *E. coli* isolate from young South African children with diarrhoeal diseases. *Journal of Health Population and Nutrition*, **19**(1), 31-37.
- Galland J., Hyatt D., Crupper S., Acheson D., 2001. Prevalence, antibiotic susceptibility, and diversity of *Escherichia coli* O157:H7 isolates from a longitudinal study of beef cattle feedlots. *Applied Environmental Microbiology*, **67**, 1619-1627.
- Gassama A. et al., 2001. Infective etiology of diarrhoea in adults with HIV infection in Dakar: a case-control study on 594 patients. *Dakar Medical*, **46**(1), 46-50.
- Gassama-Sow A. et al., 2004. Characterization of pathogenic *Escherichia coli* in human immunodeficiency virus-related diarrhoea in Senegal. *Journal of Infectious Diseases*, **189**(1), 75-78.
- Germani Y., 1995. *Méthodes de laboratoire : Pouvoir entéropathogène des bactéries (Escherichia coli)*. Institut Pasteur, Paris.
- Germani Y., Soro B., Vohito M., Morel O., Morvan J., 1997. Enterohaemorrhagic *Escherichia coli* in Central African Republic. *The Lancet*, **349**, 1670.
- Germani Y. et al., 1998a. Etiologies of acute, persistent and dysenteric diarrheas in adults in Bangui, Central African Republic, in relation to human immunodeficiency virus serostatus. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, **59**, 1008-1014.
- Germani Y. et al., 1998b. Enterohaemorrhagic *Escherichia coli* in Ngoila (Cameroon) during an outbreak of bloody diarrhoea. *The Lancet*, **22**, 625-626.
- Ghenghesh K.S., Abeid S.S., Bara F., Bukris B., 2001. Aetiology of childhood diarrhea in Tripoli-Lybia. *Jamahiriya Medical Journal*, **1**(2), 23-29.
- Ghenghesh K.S. et al., 2008. Infectious acute diarrhea in Libyan children: causative agents, clinical features, treatment and prevention. *The Libyan Journal of Infectious Diseases*, **2**(2), 10-19.
- Gouvernement du Canada, 2006. Lutte contre les maladies infectieuses. In : *Sommet du G8 du 15 au 17 juillet, Saint-Petersbourg, Russie*.
- Grace D. et al., 2008. Risk Assessment for *Escherichia coli* O157:H7 in Marketed Unpasteurized Milk in Selected East African Countries. *Journal of Food Protection*, **71**(2), 257-263.
- Greenland K., De Jager C., Heuvelink A., Zwaluw K., Heck M., Notermans D., Pelt W., Friesema I., 2009. Nationwide outbreak of STEC O157 infection in the Netherlands, December 2008-January 2009: continuous risk of consuming raw beef products. *Eurosurveillance*, **14**(8), 19129.
- Greyling L., 1998. *Hygienic and compositional quality of milk in the Free State*. M.Sc. Thesis. Bloemfontein, University of the Orange Free State, South Africa.
- Griffin P.M., 1995. *Escherichia coli* O157 and other enterohemorrhagic *Escherichia coli*. In: Blaser M.J., Smith P.D., Ravdin J.I., Greenberg H.B., Guerrant R.L. (eds). *Infection of gastrointestinal tract*. Raven Press, Ltd, New York, p. 739-761.

- Griffin P.M., Tauxe R.V., 1991. The epidemiology of infections caused by *Escherichia coli* O157:H7, other enterohemorrhagic *E. coli* and the associated haemolytic uremic syndrome. *Epidemiologic Reviews*, **13**, 60-98.
- Guerin P.J., Rebecca F.G., Rottingen J.A., Valleron A.J., the Shigella Study Group., 2007. Using European travellers as an early alert to detect emerging pathogens in countries with limited laboratory resources. *BMC Public Health*, **7**, 8.
- Guessennd N. et al., 2008. Qnr-type quinolone resistance in extended-spectrum beta- lactamase producing enterobacteria in Abidjan, Ivory Coast. *Pathologie Biologie*, Paris, **56**(7-8), 439-446.
- Haeghebaert S., Vaillant V., Decludt B., Bouvet P., Grimont P.A., 2000. Surveillance of haemolytic uraemic syndrome in children under 15 years of age in france in 1998. *Eurosurveillance*, **5**(6). pii=32. <http://eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=32>
- Hayghaimo A.A., Minga J.U., Machangu R.S., 2001. Prevalence of verocytotoxine *Escherichia coli* (EHEC) O157 in cattle meat (Beef) in two selected abattoirs of Tanzania: preliminary results. In: *19<sup>th</sup> Tanzania Veterinary Association Scientific Conference, Arusha, Tanzania*.
- Henson S., 2003. *The Economics of Food Safety in Developing Countries*. Agricultural and Development Economics Division. The Food and Agriculture Organization of the United Nations ESA Working Paper No. 03-19. [www.fao.org/es/esa](http://www.fao.org/es/esa)
- Hiko A., Asrat D., Zewde G., 2008. Occurrence of *Escherichia coli* O157:H7 in retail raw meat products in Ethiopia. *Journal of Infection in Developing Countries*, **2**(5), 389-393.
- Hounton S., 2009. Rapport du troisième cours rapide d'investigation des épisodes épidémiques. In: *The African Field Epidemiology Network: Programme Régional Francophone de Formation en Épidémiologie d'Intervention et Laboratoire en Afrique de l'Ouest (WA-FELTP), Ouagadougou, 16 au 25 mars 2009*.
- Isaäcson M. et al., 1993. Hemorrhagic colitis epidemic in Africa. *The Lancet*, **341**, 961.
- Kaddu-Mulindwa D.H., Aisu T., Gleier K., Zimmermann S., Beutin L., 2001. Occurrence of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* in fecal samples from children with diarrhea and from healthy zebu cattle in Uganda. *International Journal of Food Microbiology*, **66**(1-2), 95-101.
- Kaper J.B., Nataro J.P., Mobley H.L.T., 2004. Pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Reviews*, **2**, 123-140.
- Kelly P. et al., 2003. *Escherichia coli* enterovirulent phenotypes in Zambians with AIDS-related diarrhoea. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, **97**(5), 573-576.
- Keskimäki M., Saari M., Heikonen T., Siitonen A., 1998. Shiga Toxin producing *Escherichia coli* in Finland from 1990 through 1997: Prevalence and Characteristics of isolates. *Journal of Clinical Microbiology*, **36**(12), 3641-3646.
- Kim H. et al., 1994. Characteristics of antibiotic-resistant *Escherichia coli* O157:H7 in Washington State, 1984-1991. *Journal of Infectious Diseases*, **170**, 1606-1609.
- Knutton S., Lloyd D.R., McNeish A.S., 1987. Adhesion of enteropathogenic *Escherichia coli* to human intestinal enterocytes and cultured human intestinal mucosa. *Infection and Immunity*, **55**, 69-77.
- Koch C., Hertwig S., Lurz R., Appel B., Beutin L., 2001. Isolation of a lysogenic bacteriophage carrying the stx1OX3 gene, which is closely associated with Shiga toxin- producing *Escherichia coli* strains from sheep and humans. *Journal of Clinical Microbiology*, **39**, 3992-3998.
- Konowalkuck J., Speirs J., Stavric S., 1977. Vero response to a cytotoxin of *Escherichia coli*. *Infection and Immunity*, **18**, 775-779.
- Koyange L. et al., 2004. Enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157, Kinshasa. *Emerging Infectious Disease*, **10**(5), 968-969.
- Le Minor L., Richard C., 1993. *Méthodes de laboratoire pour l'identification des Entérobactéries*. Commission des laboratoires de référence et d'expertise de l'Institut Pasteur. Institut Pasteur. Paris, 218 p.
- Leclerc H., 1993. Les *Escherichia coli* responsables de diarrhée. *Archives Françaises de Pédiatrie*, **50**, 57-67.
- Lin Z., Kurazono H., Yamasaki S., Takeda Y., 1993. Detection of various variant verotoxin genes in *Escherichia coli* by polymerase chain reaction. *Microbiology and Immunology*, **37**(7), 543-548.

- Lingwood et al., 1987. Glycolipid binding of purified and recombinant *Escherichia coli* produced verotoxin *in vitro*. *The Journal of Biological Chemistry*, **262**, 8834-8839.
- Livmore et al., 2007. CTX-M: changing the face of ESBLs in Europe. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, **59**(2), 165-167.
- Lopman B. et al., 2002. Consortium on food-borne viruses in Europe. Laboratory capability in Europe for food-borne viruses. *Eurosurveillance*, **7**, 61-65.
- Magwira C.A., Gashe B.A., Collison E.K., 2005. Prevalence and antibiotic resistance profiles of *Escherichia coli* O157:H7 in beef products from retail outlets in Gaborone, Botswana. *Journal of Food Protection*, **68**(2), 403-406.
- Mahon B.E., Griffin P.M., Mead P.S., Tauxe R.V., 1997. Haemolytic uremic syndrome surveillance to monitor trends in infection with *Escherichia coli* O157:H7 and other Shiga toxin-producing *E. coli*. *Emerging Infectious Diseases*, **3**, 409-412.
- Mainil J.G., Daube G., 2005. Verotoxigenic *Escherichia coli* from animals, humans and foods: who's who? *Journal of Applied Microbiology*, **98**, 1332-1344.
- Malakooti M.A., Alaii J., Shanks G.D., Phillips-Howard P.A., 1997. Epidemic dysentery in western Kenya. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, **91**, 541-543.
- McEvoy J.M., Doherty A.M., Sheridan J.J., McGuire L., 2003. The Incidence of *Listeria* spp. and *Escherichia coli* O157:H7 on beef carcasses. In: Diestre A., Monfort J.M. (eds). *Congress Proceedings 44<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology*. Madrid: *Estrategias Alimentarias S.L.*, pp. 346-347.
- Mead P.S., Griffin P.M., 1998. *Escherichia coli* O157. *The Lancet*, **352**, 1207-1212.
- Mensah P., Yeboah-Manu D., Owusu-Darko K., Ablordey A., 2002. Street foods in Accra, Ghana: How safe are they? *Bulletin of World Health Organization*, **80**, 546-554.
- MMWR, 1994. Laboratory screening for *Escherichia coli* O157:H7- Connecticut. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, **43**, 192-194.
- Moyo S.J. et al., 2007. Identification of diarrheagenic *Escherichia coli* isolated from infants and children in Dares Salaam, Tanzania. *BMC Infectious Diseases*, **7**(92), 1-7.
- Müller E.E., Ehlers M.M., Grabow W.O., 2001. The occurrence of *Escherichia coli* O157:H7 in South African water sources intended for direct and indirect human consumption. *Water Research*, **35**, 3085-3088.
- Müller E.E., Grabow W.O.K., Ehlers M.M., 2003. Immunomagnetic separation of *Escherichia coli* O157:H7 from environmental and wastewater in South Africa. *Journal of Water in South Africa*, **29**, 431-439.
- Musafiri K., Carlton L.G., 2013. Virulence profiling of Shiga toxin-producing *Escherichia coli* O111:NM isolates from cattle. *Applied Environmental Microbiology*, **79**(11), 00294-00313
- Nakao H., Kimura K., Murakami H., Maruyama T., Tadeka T., 2002. Subtyping of Shiga toxin 2 variants in human-derived Shiga toxin-producing *Escherichia coli* strains isolated in Japan. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, **34**, 289-297.
- Nataro J.P., Kaper J.B., 1998. Diarrheagenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews*, **11**, 142-201.
- NICD (National Institute for Communicable Diseases), 2006. *Communicable Diseases Surveillance Bulletin*, **4**(1), 2-16. <http://www.nicd.ac.za/pubs/survbull/2006/CommDisBullMarch06.pdf>
- NICD (National Institute for Communicable Diseases), 2008. *Communicable Diseases Surveillance Bulletin*, **6**(1), 1-28. <http://www.nicd.ac.za/pubs/survbull/2007/CommDisBullMarch07.pdf>
- Naugle A.L., Holt K.g., Levine P., Eckel R., 2005. Food Safety and Inspection Service regulatory testing program for *Escherichia coli* O157:H7 in raw ground beef. *Journal of Food Protection*, **69**(3), 462-468.
- Naugle A.L., Holt K.g., Levine P., Eckel R., 2006. Sustained decrease in the rate of *Escherichia coli* O157:H7-positive raw ground beef samples tested by the Food Safety and Inspection Service. *Journal of Food Protection*, **69**(3), 480-481.



- Nesreen A.T., Ellatif S.G., Hamouda R.H., 2009. Genetic Typing and Antigenic Characterization of Egyptian Field Shiga Toxigenic *Escherichia coli* Isolates with Regard to Profile of Virulence Proteins. *Global Veterinaria*, **3**(6), 457-464.
- Obi C.L. et al., 2004. Gene encoding virulence markers among *Escherichia coli* isolates from diarrhoeic stool samples and river sources in rural Venda communities of South Africa. *Water SA*, **30**(1), 37-42.
- O'Brien A.D., LaVeck G.D., 1983. Purification and characterization of a Shigella dysenteriae 1-like 25. toxin produced by *Escherichia coli*. *Infection and Immunity*, **40**, 675-683.
- O'Brien A.D., LaVeck G.D., Thompson M.R., Formal S.D., 1982. Production of Shigella dysenteriae type 1-like toxins by *Escherichia coli*. *Journal of Infectious Diseases*, **146**, 763-769.
- O'Brien A.D. et al., 1993. Profile of *Escherichia coli* O157:H7 pathogen responsible for hamburger-borne outbreak of hemorrhagic colitis and hemolytic uremic syndrome in Washington, *Journal of Clinical Microbiology*, **31**, 2799-2801.
- Office fédéral de santé publique (OFSP), 2001. Déclarations des maladies infectieuses. In : Office fédéral de la santé publique. *Bulletin* 2/01, 32-33. <http://www.bag.admin.ch/dokumentation/publikationen/01435/01801/index.html?lang=fr&sort=>
- Ogunsanya T.I., Rotimi V.O., Adenuga A., 1994. A study of the aetiological agents of childhood diarrhoea in Lagos, Nigeria. *Journal of Medical Microbiology*, **40**, 10-14.
- Okeke I. N., Lamikanra A., Edelman R., 1999. Socioeconomic and behavioral factors leading to acquired bacterial resistance to antibiotics in developing countries. *Emerging Infectious Diseases*, **5**, 18-27.
- Okeke I.N., Lamikanra A., Steinruck H., Kaper J.B., 2000. Characterization of *Escherichia coli* strains from cases of childhood diarrhea in provincial southwestern Nigeria. *Journal of Clinical Microbiology*, **38**(1), 7-12.
- Okeke I. N., Nataro J. P., 2001. Enteroaggregative *Escherichia coli*. *Lancet Infectious Diseases*, **1**, 304-313.
- Okeke I.N., Ojo O., Lamikanra A., Kaper J.B., 2003. Aetiology of acute diarrhoea in adults in southwestern Nigeria. *Journal of Clinical Microbiology*, **41**, 4525-4530.
- Olorunshola I.D., Smith S.T., Coker A.O., 2000. Prevalence of enterohaemorrhagic O157:H7 in patients with diarrhea in Lagos Nigeria. *APMIS*, **108**, 761-763.
- OMS, 2007. *Activités de l'OMS dans la région africaine*. Rapport annuel du Directeur Régional, AFR/RC57/2, 69 p.
- OMS/FAO, 2008. *Initiative OMS pour estimer la charge mondiale des maladies d'origine alimentaire*. Réseau international des autorités de sécurité sanitaire des aliments (INFOSAN). Note d'information n° 5.
- Paquet C., Perea W., Grimont F., Collin M., Guillod M., 1993. Aetiology of haemorrhagic colitis epidemic in Africa. *The Lancet*, **342**, 175.
- Paton A.W., Paton J.C., 1999. Direct detection of shiga toxigenic *Escherichia coli* strains belonging to serogroups o111, o157, and o113 by multiplex PCR. *Journal of Clinical Microbiology*, **37**(10), 3362-3365.
- Pavankumar R.A., Sankaran K., 2008. The Need and New Tools for Surveillance of *Escherichia coli* Pathogens. *Food Technology and Biotechnology*, **46**(2), 125-145.
- Prestler E. et al., 2003. Frequency and virulence properties of diarrhoeagenic *Escherichia coli* in children with diarrhea in Gabon. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, **69**(4), 406-410.
- Raji M.A., Minga U., Machangu R., 2006. Current epidemiological status of enterohaemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in Africa. *Chinese Medical Journal*, **119**, 217-222.
- Rapelli P. et al., 2005. Pathogenic enteric *Escherichia coli* in children with and without diarrhea in Maputo, Mozambique. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, **43**, 67-72.
- Reid S.D., Herberin C.J., Bumbaugh A.C., Selander R.K., Whittam T.S., 2000. Parallel evolution of virulence in pathogenic *Escherichia coli*. *Nature*, **406**(6791), 64-67.
- Reinders D., Evers E.G., de Jonge R., van Leusden F.M., 2002. *Variation in the numbers of Shiga-toxin producing E. coli O157 in mince beef*. RIVM Report, Bilthoven, 97 p.

- Reinert R.R. et al., 2007. Antimicrobial susceptibility among organisms from the Asia/Pacific Rim, Europe and Latin and North America collected as part of TEST and the *in vitro* activity of tigecycline. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, **60**(5), 1018-1029.
- Riley L.W. et al., 1983. Hemorrhagic colitis associated with a rare *Escherichia coli* serotype. *New England Journal of Medicine*, **308**, 681-685.
- RKI (Robert Koch Institute), 2008. Surveillance Statistics. <http://www3.rki.de/SurvStat>
- Sang W.K. et al., 1996. Haemorrhagic colitis due to *Escherichia coli* O157:H7 in Kenya. *Journal of Tropical Pediatrics*, **42**, 118-119.
- Sang W.K. et al., 1997. Multidrug-Resistant Enterohaggative *Escherichia coli* Associated with Persistent Diarrhea in Kenyan Children. *Emerging Infectious Diseases*, **3**(3), 373-374.
- Schmidt H., Beutin L., Karch H. 1995. Molecular analysis of the plasmid-encoded hemolysin of *Escherichia coli* O157:H7 strain EDL 933. *Infection and Immunity*, **63**, 1055-1061.
- Schroeder C. et al., 2002. Antimicrobial resistance of *Escherichia coli* O157 isolated from humans, cattle, swine, and food. *Applied and Environmental Microbiology*, **68**, 576-581.
- Scotland S.M., Smith H.R., Willshaw G.A., Rowe B., 1983. Vero cytotoxin producing in strain of *E. coli* is determined by genes carried on bacteriophage. *The Lancet*, **2**, 216.
- Smith S.I. et al., 2009. Prevalence of EHEC O157:H7 from human and environmental samples from Lagos and Zaria. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, **25**(3), 398-403.
- Soloaga A. et al., 1999. Insertion of *Escherichia coli* alpha-hemolysin in lipid bilayers as a non-transmembrane integral protein: prediction and experiment. *Molecular Microbiology*, **31**, 1013-1024.
- Sooka A., du Plessis M., Keddy K., 2004. Enterovirulent *Escherichia coli*. *The Southern African Journal of Epidemiology and Infection*, **19**(1), 23-33.
- Souli M., Galani I., Giamarellou H., 2008. Emergence of extensively drug resistant and pandrugresistant Gram negative bacilli in Europe. *Eurosurveillance*, **13**(47), 1-11.
- Stephan R., Ragetli S., Untermann F., 2000. Prevalence and characteristics of verotoxin-producing *Escherichia coli* (vtec) in stool samples from asymptomatic human carriers working in the meat processing industry in Switzerland. *Journal of Applied Microbiology*, **88**(2), 335-341.
- Strockbine N. et al., 1986. Two toxin-converting phages from *Escherichia coli* O157:H7 strain 933 encode antigenically distinct toxins with similar biologic activities. *Infection and Immunity*, **53**, 135-140.
- Strockbine N.A., Jackson M.P., Sung L.M., Holmes R.K., O'Brien A.D., 1988. Cloning and sequencing of the genes for Shiga toxin from *Shigella dysenteriae* type 1. *Journal of Bacteriology*, **170**, 1116-1122.
- Tarr P.I., 1995. *Escherichia coli* O157:H7: clinical, diagnostic, and epidemiological aspects of human infection. *Clinical Infectious Diseases*, **20**(1), 1-8.
- Todd E.C.D., 2001. Food borne and water-borne disease in developing countries – Africa and the Middle East. *Dairy, Food and Environmental Sanitation*, **21**, 110-122.
- Todd E.C.D., 2006. Challenges to global surveillance of disease patterns. *Marine Pollution Bulletin*, **53**, 569-578.
- Tonia S.A., Marcia A.W., 1997. Identification of a family of intimins common to *Escherichia coli* causing attaching-effacing lesions in rabbits, humans, and swine. *Infection and Immunity*, **65**, 320-326.
- Tsegaye M., Ashenafi M., 2005. Fate of *Escherichia coli* O157:H7 during the processing and storage of Ergo and Ayib, traditional Ethiopian dairy products. *International Journal of Food Microbiology*, **103**, 11-21.
- Tuyet D.N. et al., 2006. Enteropathogenic *Escherichia coli* O157 In Bangui And N'goila, Central African Republic: a brief report. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, **75**(3), 513-515.
- Vaillant V., Espié E., 2002. *Facteurs de risque de survenue des syndromes hémolytiques et urémiques liés à une infection à Escherichia coli producteurs de shigatoxines chez les enfants âgés de moins de 15 ans. Étude cas-témoins 2000-2001*. Institut de Veille Sanitaire, Saint Maurice, France, 61 p.



- Valentiner-Branth P. et al., 2003. Cohort Study of Guinean Children: Incidence, Pathogenicity, Conferred Protection, and Attributable Risk for Enteropathogens during the First 2 Years of Life. *Journal of Clinical Microbiology*, **41**(9), 4238-4245.
- Wells J., Davis B., Wachsmuth I., 1983. Laboratory investigation of hemorrhagic colitis outbreaks associated with a rare *Escherichia coli* serotype O157:H7. *Journal of Clinical Microbiology*, **18**, 512-520.
- Werber D., Beutin L., Pichner R., Stark K., Fruth A., 2008. Shiga Toxin-producing *Escherichia coli* Serogroups in Food and Patients, Germany. *Emerging Infectious Diseases*, **14**(11), 1803-1806.
- WHO, 2001. *Surveillance programme for control of food borne infection and intoxication in Europe*. Newsletter N° 70. WHO, Geneva.
- WHO, 2002a. *Food Safety and Food-Borne Illness*. World Health Organisation, Geneva.
- WHO, 2002b. *WHO Global Strategy for Food Safety*. World Health Organisation, Geneva.
- WHO, 2005. *Guidelines for the control of epidemics due to Shigella dysenteriae type 1*. WHO, Geneva. <http://whqlibdoc.who.int/publications/2005/9241592330.pdf>
- WHO, 2010. *WHO in African region*. <http://www.afro.who.int/fr/loms-en-afrique.html>
- Wilkerson C., Samadpour M., van Kirk N., Roberts M.C., 2004. Antibiotic Resistance and Distribution of Tetracycline Resistance Genes in *Escherichia coli* O157:H7 Isolates from Humans and Bovines. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, **48**(3), 1066-1067.
- Wittenberg D.F., 1999. Emerging and re-emerging diseases-epidemic enterohaemorrhagic infections 100 years after Shiga. *South African Medical Journal*, **89**, 750-752.
- Wong C., Jelacic S., Habeeb R., Watkins S., Tarr P., 2000. The risk of the hemolytic-uremic syndrome after antibiotic treatment of *Escherichia coli* O157:H7 infections. *The New England Journal of Medicine*, **342**, 1930-1936.
- Zhang W.L., Bielaszewska M., Kuczius T., Karch H., 2002. Identification, characterization and distribution of a Shiga toxin 1 gene variant (stx1c) in *Escherichia coli* strains isolated from humans. *Journal of Clinical Microbiology*, **40**, 1441-1446.

## Utilisation des déjections animales en agriculture urbaine : quels impacts sur la qualité microbiologique des feuilles de *Solanum macrocarpon* L. (Solanaceae) cultivé à Cotonou ?

Dougnon Victorien T., Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin,  
E-mail : victorien88@hotmail.com,

Boko Michel, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, E-mail : bokomichel@gmail.com

Bankolé Honoré S., Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, E-mail : bahosour@yahoo.fr

Dougnon Jacques T., Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, E-mail : dougnonj@yahoo.fr

Loko Frédéric, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin,

E-mail : lokofrederic@hotmail.com,

Erdorh Patrick A., Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, E-mail : patrickerdorh@yahoo.fr

### Résumé

L'agriculture urbaine est devenue, dans les pays en développement, l'une des activités nécessaires pour assurer la sécurité alimentaire des citoyens. Cependant, la modernisation et l'intensification des systèmes de production induisent une plus forte utilisation d'intrants. Les producteurs répondent à cette demande par le recyclage de différents types de déchets. Ainsi, la population de Cotonou, a développé une stratégie locale de production maraîchère qui s'est traduite par l'utilisation des fientes de poulets pour amender les produits maraîchers. Malgré les substances nutritives contenues dans les fientes de poulets, les bactéries pathogènes présentes pourraient durablement contaminer les feuilles de légume. La présente étude a alors évalué les impacts de l'utilisation des fientes de poulets sur la qualité microbiologique de *Solanum macrocarpon*, un légume produit par 95% des maraîchers à Cotonou. Un site témoin à Glo-Djigbé, les sites maraîchers de Houéyiho, de Fidjrossè et d'Agongbomey ont été inclus dans l'étude. Les salmonelles et les coliformes fécaux dont *Escherichia coli* ont été recherchés dans l'environnement de culture de *S. macrocarpon* (eaux de marécage et feuilles du légume entre autres). Le site de Glo-Djigbé a été mis en place juste pour la présente étude (usage de fientes de volaille non compostées + eaux du robinet) tandis que les autres sites sont des jardins maraîchers exploités depuis des dizaines d'années (fientes mal compostées + eaux de marécage). Aucun germe de salmonellose n'a été isolé dans ces échantillons. Les eaux d'arrosage de Glo-Djigbé n'ont pas été contaminées par *E. coli* en comparaison avec celles des sites de Houéyiho, Fidjrossè, Agongbomey ( $p < 0.05$ ). Les feuilles de *S. macrocarpon* ont été contaminées par *E. coli* à des degrés divers selon les sites avec des valeurs supérieures aux normes de  $1,0 \cdot 10^2$  UFC/g. Malgré tout l'intérêt de la réutilisation des déchets animaux pour une agriculture durable, des règles strictes sont à respecter pour le bien-être des consommateurs. Il s'agit entre autres du compostage correct de huit semaines en cas d'utilisation de déjections animales en agriculture. Des sources d'eau profondes devraient être préférées aux eaux de surface en vue d'éviter les contaminations telluriques.

### Use of chickens manure in urban agriculture: what impact on the microbiological quality of leaves of *Solanum macrocarpon* Linn (Solanaceae) cultivated in Cotonou ?

Urban agriculture become in developing countries, one of the activities necessary to ensure food security of the citizens. However, modernization and intensification of production systems induce greater use of inputs. Market gardeners meet this demand by recycling different types of waste. Thus, the population in Cotonou, developed a local strategy for vegetable production.

It has resulted in the use of chicken manure to crop vegetables. Despite the nutrients in chicken droppings, the presence of pathogenic bacteria could permanently contaminate leaf vegetable.

This study then evaluated the impact of the use of chicken manure on the microbiological quality of *S. macrocarpon*, a vegetable product by 95% of market gardeners in Cotonou. A control site at Glo-Djigbé and sites of Houéyiho, Fidjrossè and Agongbomey were included in the study. Salmonella and fecal coliform of which *E. coli* were investigated in the culture environment of *S. macrocarpon*.

The site of Glo-Djigbé was set up just for this study (use of non-composted chicken's manure + water taps), while other sites were market gardens exploited for decades (poorly composted manure + water wetland). No salmonella was isolated from these samples. The Glo-Djigbé waters of watering have not been contaminated with *E. coli* compared with those from Houéyiho; Fidjrossé; and Agongbomey ( $P < 0.05$ ). The leaves of *S. macrocarpon* were contaminated with *E. coli* to varying degrees depending on the sites with values higher than standards ( $1.0.10^2$  CFU/g). Despite the interest of reuse of animal waste for sustainable agriculture, strict rules must be adhered to for the well-being of consumers. These include the correct composting of eight weeks when using animal manure in agriculture. Deep water sources should be preferred to surface waters in order to avoid the terrestrial contamination.

## 1. Introduction

*Solanum macrocarpon* nécessite une grande quantité de nutriments pour assurer sa croissance. Ces nutriments peuvent facilement être mis à disposition par l'utilisation d'engrais inorganiques. Cependant, il y a des problèmes liés à leur utilisation. C'est pourquoi la fumure organique est de plus en plus préférée (Ullah et al., 2008 ; Agbo et al., 2012). Parmi ces fumures organiques, les fientes de poulets occupent une place importante (Assogba-Komlan, Anihouvi, 2007). L'utilisation de fumier est donc essentielle dans l'amélioration de la productivité des sols et la production agricole (Dikinya, Mufwanzala, 2010). Néanmoins, malgré tout l'intérêt que présente la réutilisation des fientes de poulets en agriculture urbaine, des contaminations liées à la présence de bactéries pathogènes (Métras, 2003) représentent des contraintes à considérer avec soin.

La plupart des produits maraîchers, dont *S. macrocarpon*, sont souvent consommés crus ; ce qui amplifie encore le danger auxquels sont exposés les consommateurs de ces denrées.

En effet, en cas d'utilisation de déchets d'animaux sur les cultures maraîchères (dont les feuilles sont consommées), certains microorganismes pathogènes contaminent préférentiellement les parties foliaires (Niang, 1996). Tous ces facteurs ne garantissent donc pas la qualité sanitaire de *S. macrocarpon* produit à Cotonou, d'où la nécessité de répondre au questionnement de la présente recherche : les feuilles de *S. macrocarpon* cultivé dans ces conditions sont-elles saines du point de vue microbiologique ?

## 2. Matériel et méthodes

Il s'est agi d'une étude préliminaire transversale qui s'est déroulée à Cotonou de novembre 2011 à janvier 2012 sur quatre sites de culture de *S. macrocarpon*. Cette étape a été très importante afin de faire un état des lieux en situant les sources de contamination des légumes. Tous les maraîchers de ces sites utilisent les fientes de poules pondeuses pour amender les différentes cultures produites. Seul un site, celui de Glo-Djigbé n'a pas connu de compostage de fientes avant amendement des cultures. En effet, aucun compostage n'y a été réalisé alors que sur les autres sites, les fientes sont laissées au séchage pendant trois jours à deux semaines environ.

Deux systèmes d'arrosage à savoir le forage et la terre creusée du marécage ont été pratiqués sur deux sites.

Les deux autres sites d'étude ont connu un seul système d'arrosage : terre creusée de marécage pour le site d'Agongbomey et robinet pour celui de Glo-Djigbé.

Sur chaque site, des prélèvements de sols, d'eau d'arrosage et de feuilles de *S. macrocarpon* ont été réalisés chez deux maraîchers choisis de façon aléatoire (Tableau 1).

**Tableau 1.** Échantillons utilisés.

Type d'analyses	Échantillons
Analyses microbiologiques (24 échantillons)	8 échantillons de sols (2 échantillons × 4 sites)
	8 échantillons d'eau d'arrosage (2 échantillons × 4 sites)
	8 échantillons de feuilles (2 échantillons × 4 sites)

Un questionnaire administré aux maraîchers a permis de s'assurer que les matières utilisées pour l'amendement des cultures maraîchères sont bien des fientes de poulets et que *S. macrocarpon* est cultivé sur le site visité. Les prélèvements ont été réalisés de la manière suivante :

– Feuilles de *S. macrocarpon*

Une quantité (500 g) de feuilles fraîches a été récoltée sur les plants de légume puis introduite dans des sachets en plastique hermétiquement fermés. La récolte a été faite en coupant les feuilles à 4 cm environ de la racine à l'aide d'une lame stérile.

– Sol et eau

Sur chaque site, 500 g de sol ont été prélevés dans des sachets plastiques à une profondeur comprise entre 0 et 15 cm. Le prélèvement a été réalisé à l'aide d'une tarière. Les échantillons d'eau d'arrosage des plants de *S. macrocarpon* ont directement été prélevés dans des bouteilles en plastique stériles d'un demi-litre.

Ils ont été transportés dans une glacière vers le laboratoire dans un intervalle d'une heure après le prélèvement. Ils y ont été conservés à une température de 4 °C. Les échantillons de sols et de feuilles ont été transportés dans des sachets plastiques et ont été conservés à température ambiante à cause de leur stabilité. Les analyses microbiologiques ont été effectuées dans les 12 heures suivant les prélèvements des échantillons. Elles ont permis de rechercher les salmonelles, les coliformes fécaux (spécifiquement *E. coli*) dans les divers échantillons conformément à la méthodologie décrite par Dougnon (2012).

### 3. Résultats

#### 3.1. Contamination des eaux d'arrosage et des feuilles de *S. macrocarpon* par les coliformes fécaux

##### 3.1.1. Eaux d'arrosage

Les eaux d'arrosage du site témoin de Glo-Djigbé n'ont pas été contaminées par des coliformes fécaux (0 UFC/100 ml) alors que celles de Houéyiho, Fidjrossè et Agongbomey l'ont été respectivement à  $14,5 \cdot 10^4 \pm 70,06$  UFC/100 ml ;  $8,5 \cdot 10^4 \pm 106,01$  UFC/100 ml et  $1,05 \cdot 10^5 \pm 70,06$  UFC/100 ml.

*E. coli* est absent sur le site témoin de Glo-Djigbé contrairement à Houéyiho ( $1,8 \cdot 10^4 \pm 28,42$  UFC/100 ml), à Fidjrossè ( $0,95 \cdot 10^4 \pm 70,10$  UFC/100 ml) et à Agongbomey ( $5\,545 \pm 77,53$  UFC/100 ml). Ces différences se sont avérées significatives puisqu'il s'agit d'absence totale sur le site de Glo-Djigbé et de présence de coliformes fécaux sur les autres sites ( $p < 0,05$ ). Les eaux d'arrosage, quelle que soit leur origine ont été contaminées par les coliformes fécaux. Les logarithmes décimaux des valeurs de coliformes fécaux et *E. coli* dans les eaux d'arrosage ont été calculés afin de mieux expliquer l'étendue de cette contamination. Les résultats sont consignés dans le tableau 2.

**Tableau 2.** Spécificités de la contamination des eaux d'arrosage par les coliformes fécaux et *E. coli*.

Site maraîcher	Origine de l'eau d'arrosage	Coliformes fécaux (UFC/100 ml)	Valeur du logarithme	<i>E.coli</i> (UFC/100 ml)	Valeur du logarithme
Houéyiho	Eau de marécage	14.10 <sup>4</sup>	5,14	2.10 <sup>4</sup>	4,3
	Eau de forage	15.10 <sup>4</sup>	5,17	1,6.10 <sup>4</sup>	4,2
Fidjrossè	Eau de marécage	16.10 <sup>4</sup>	5,2	1.10 <sup>4</sup>	4
	Eau de forage	1.10 <sup>4</sup>	4	0,9.10 <sup>4</sup>	3,95
Agongbomey	Eau de marécage	1.10 <sup>5</sup>	5	0,9.10 <sup>2</sup>	1,95
	Eau de forage	1,1.10 <sup>5</sup>	5,04	1,1.10 <sup>4</sup>	4,04

### 3.1.2. Feuilles de *S. macrocarpon*

Les feuilles de *S. macrocarpon* du site témoin de Glo-Djigbé ont été contaminées par des coliformes fécaux ( $6,05.10^5 \pm 219,10$  UFC/g) alors que celles de Houéyiho, Fidjrossè et Agongbomey l'ont été respectivement à raison de  $0,95.10^3 \pm 70,71$  UFC/g;  $3,5.10^3 \pm 21,32$  UFC/g et  $182.10^3 \pm 25,01$  UFC/g (Tableau 3).

**Tableau 3.** Contamination des feuilles de *S. macrocarpon* par les coliformes fécaux.

Sites	G	H	F	A
Moyenne (UFC/g)	$6,05.10^5$ a	$0,95.10^3$ a	$3,5.10^3$ a	$182.10^3$ a
± Écart-type	219,10	70,71	21,32	25,01

G, H, F et A représentent respectivement Glo-Djigbé, Houéyiho, Fidjrossè et Agongbomey. Les moyennes portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de signification  $\alpha = 0,05$ .

La contamination des feuilles de *S. macrocarpon* par *E. coli* a été de  $35,65.10^4 \pm 457,08$  UFC/g sur le site témoin de Glo-Djigbé alors qu'elle a été respectivement de  $0,95.10^3 \pm 70,71$  UFC/g;  $1.10^3 \pm 0$  UFC/g et  $0,9.10^3 \pm 0$  UFC/g sur les sites de Houéyiho, Fidjrossè et Agongbomey. L'analyse statistique a révélé que la différence entre les moyennes de Glo-Djigbé et Houéyiho n'est pas significative au seuil de signification  $\alpha = 0,05$ . Par contre, elle l'a été au même seuil entre les moyennes de Glo-Djigbé et Fidjrossè puis Glo-Djigbé et Agongbomey (Tableau 4).

**Tableau 4.** Contamination des feuilles de *S. macrocarpon* par *E. coli*.

Sites	G	H	F	A
Moyenne (UFC/g)	$35,65.10^4$ a	$0,95.10^3$ a	$1.10^3$ b	$0,9.10^3$ b
± Écart-type	457,08	70,71	0	0

G, H, F et A représentent respectivement Glo-Djigbé, Houéyiho, Fidjrossè et Agongbomey. Les moyennes portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de signification  $\alpha = 0,05$ .

## 3.2. Contamination de l'environnement de culture de *S. macrocarpon* par les salmonelles

Les salmonelles n'ont pas été détectées dans l'environnement de culture de *S. macrocarpon*. En effet, aucune UFC n'a été détectée dans les échantillons de sols, d'eaux d'arrosage et de feuilles de *S. macrocarpon* issus des sites d'étude.

## 4. Discussion

### 4.1. Contamination des eaux d'arrosage et des feuilles de *S. macrocarpon* par les coliformes fécaux

Les coliformes fécaux dont *E. coli* ont été recherchés dans les eaux d'arrosage et les feuilles de *S. macrocarpon* car ces bactéries sont produites dans l'intestin des animaux. Le sol constitue également selon Pilet et al. (1981) leur habitat naturel. Mais leur présence dans les légumes est anormale et rend compte de la qualité sanitaire de ces aliments. La présence de coliformes fécaux, rapportée par nos résultats, peut être une indication de la présence de micro-organismes entéropathogènes comme l'ont notifiée Zmirou et al. (1987). En outre, la présence d'*E. coli* confirme la présence effective des coliformes fécaux. Par ailleurs, Habteselassie et al. (2010) ont souligné qu'*E. coli* se développe près des racines des plantes et peut contaminer la culture des jeunes pousses. Il peut vivre pendant des semaines autour des racines des plantes et être transféré vers les parties comestibles.

D'une manière générale, les eaux d'arrosage utilisées sur les sites maraîchers sont contaminées par les coliformes fécaux à l'exception du site témoin de Glo-Djigbé. Cette différence pourrait s'expliquer par le système d'arrosage utilisé selon le site. En effet, sur le site témoin de Glo-Djigbé, les maraîchers ont utilisé l'eau de robinet de la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) alors que sur les autres sites, les systèmes de terre de marécage creusée et de forage sont adoptés. Les eaux d'arrosage de Houéyiho sont plus polluées par les coliformes fécaux que celles d'Agongbomey et de Fidjrossé. La comparaison des logarithmes décimaux a montré que les eaux superficielles de marécage sont légèrement plus polluées par *E. coli* (4,3 à Houéyiho, 4 à Fidjrossé et 4 à Agongbomey) que celles des eaux de forage (4,2 à Houéyiho et 3,95 à Fidjrossé) même si cette variation au niveau de la contamination n'est pas très grande.

Cela serait dû à la profondeur insuffisante des forages (8 m). Les résultats de la présente étude sont en concordance avec ceux d'Akodogbo (2005) qui souligne que l'eau de forage est moins polluée que celle des puits (terres creusées de marécage) à condition que ledit forage soit profond, à plus de 10 m. Cet auteur a fait observer par ailleurs que la plupart des cours d'eau, puits et forages de Cotonou sont envahis par les coliformes, dont *E. coli*, à cause de la contamination tellurique. La présence d'*E. coli* dans les eaux des sites d'étude, excepté celles de Glo-Djigbé, confirme bien que ces eaux d'arrosage ont connu une contamination fécale récente. Ceci est possible dans la mesure où la plupart desdits sites présentent une insalubrité non négligeable (excréments humains et autres déchets). La profondeur des puits est un facteur très important car plus l'eau s'infiltre, plus elle se débarrasse de ses impuretés (Akodogbo, 2005) ; or la plupart des sources d'arrosage des sites maraîchers sont situées dans des bas-fonds et ne sont pas profondes. Aucune des eaux d'arrosage, mis à part celles du site de Glo-Djigbé ne répond aux normes variant entre 100 et 200 UFC/100 ml pour les coliformes et *E. coli*, proposées par Santé Canada (1991).

Les feuilles de *S. macrocarpon* ont été contaminées par les coliformes fécaux sur tous les sites d'étude. Cette contamination serait certainement due soit à la qualité microbiologique des eaux d'arrosage utilisées sur ces sites, soit aux fientes de poulets servant à l'amendement.

La présence de coliformes sur le site témoin de Glo-Djigbé, amendé par les fientes de poulets et où les eaux d'arrosage sont celles du robinet (SONEB) pourrait incriminer les fientes de poulets comme étant la principale source de contamination. En effet, les feuilles de légume issues du site témoin ont présenté un fort taux de contamination par les coliformes fécaux alors que les fientes utilisées n'ont connu aucun compostage avant l'amendement des plants. Cela confirme les résultats de Florin et al. (2009) qui ont affirmé que le taux de coliformes fécaux dans les légumes diminue considérablement si le compostage des fientes ayant servi à les amender est adéquat. Par ailleurs, les feuilles en provenance de tous les sites présentent des

valeurs supérieures à celles imposées par le Comité provincial du Canada sur l'uniformisation et l'interprétation des critères microbiologiques des aliments qui sont de  $1,0.10^2$  UFC/g (Santé Canada, 1991).

## 4.2. Contamination de l'environnement de culture de *S. macrocarpon* par les salmonelles

Aucun germe de salmonellose n'a été retrouvé dans l'environnement de culture de *S. macrocarpon*. L'absence de ces germes dans l'eau d'arrosage, le sol et les feuilles de *S. macrocarpon* pourrait signifier la non-contamination des fientes utilisées pour l'amendement de cette culture. Des résultats similaires ont été rapportés par Araba et al. (2000) qui ont recherché les salmonelles dans neuf échantillons de fientes de poulets. En effet, les entérobactéries sont naturellement présentes dans l'intestin grêle des animaux et leur présence dans un milieu a toujours une origine fécale (Pilet et al., 1981).

Cependant, Rose et al. (1999) ont identifié des facteurs de risque relatifs à la contamination à 70% par *Salmonella* dans les fientes de poulets. Cette différence pourrait être liée aux prélèvements de fientes fraîchement recueillies par ces auteurs au niveau des poulaillers contrairement à la méthode de collecte de fientes adoptée au cours de la présente étude. En effet, les fientes de poulets ont été obtenues après transport et stockage durant plusieurs jours avant leur utilisation. Le stockage a notamment pour objectif d'assainir le fumier, par l'échauffement qui s'y produit.

Kwak et al. (2005) ont, à cet effet, évalué les effets d'un traitement en pile profonde de la litière de poulet. Ils ont ainsi suggéré que la litière de volaille correctement empilée, avec ou sans aération, assure l'élimination des entérobactéries pathogènes en 8 jours.

De plus, Araba et al. (2000) ont lié l'absence de salmonelles dans leur étude au stockage réalisé au niveau des fermes précédant les examens microbiologiques. Toutefois, il se pourrait que les fientes utilisées pour cette étude soient issues de fermes indemnes de salmonelloses aviaires.

## 5. Conclusion

Les feuilles de *S. macrocarpon* sont contaminées par les coliformes fécaux dont *E. coli*. Il existe donc des risques réels de contamination bactérienne des consommateurs de légumes. Il est alors utile de bien cuire les denrées maraîchères avant de les consommer. Au niveau des maraîchers, des efforts doivent être faits en vue d'un compostage correct des fientes de poulets avant utilisation sans oublier que des sources d'eaux profondes (eaux de forage) doivent être préférées aux sources superficielles.

## Bibliographie

- Agbo C.U., Chukwudi P.U., Ogbu A.N., 2012. Effects of rates and frequency of application of organic manure on growth, yield and biochemical composition of *Solanum melongena* L. (cv. 'Ngwa local') fruits. *Journal of Animal and Plant Sciences*, **14**(2), 1952-1960.
- Akdogbo H., 2005. *Contribution à l'amélioration de la qualité de l'eau à usage domestique dans le 5<sup>ème</sup> arrondissement de la commune de Porto-Novo au Bénin*. Mémoire de Maîtrise Professionnelle en Environnement et Santé, FLASH/UAC, 65 p.
- Araba A., Hachana Y., 2000. Caractérisation chimique et microbiologique des fientes de volaille en vue de leur utilisation en alimentation des ruminants. *Actes de l'Institut Agronomique et Vétérinaire du Maroc*, **20**(2), 83-88.



- Assogba-Komlan F., Anihouvi P., 2007. Pratiques culturales et teneur en éléments anti nutritionnels (nitrates et pesticides) du *Solanum macrocarpum* au sud du Bénin. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, **7**(4), 1-21.
- Dikinya O., Mufwanzala N., 2010. Chicken manure-enhanced soil fertility and productivity: Effects of application rates. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, **1**(3), 46-54.
- Doungnon T.V., 2012. *Utilisation des fientes de poulets, des eaux de marécage en agriculture urbaine et qualité sanitaire de Solanum macrocarpum L. (Solanaceae)*. Mémoire de DEA, Université d'Abomey-Calavi, 126 p.
- Florin N.H., Maddocks A.R., Wood S., Harris A.T., 2009. High-temperature thermal destruction of poultry derived wastes for energy recovery in Australia. *Waste Management*, **29**(4), 1399-1408.
- Habteselassie Y., Bischoff M., Applegate B., Reuhs B., Ronald F., 2010. Understanding the role of Agricultural Practices in the Potential Colonization and Contamination by *Escherichia coli* in the rhizospheres of Fresh Produce. *Journal of Food Protection*, **73**, 2001-2009.
- Kwak W.S., Huh J.W., Maccaskey T.A., 2005. Effect of processing time on enteric bacteria survival and on temperature and chemical composition of broiler poultry litter processed by two methods. *Bioresource Technology*, **96**(14), 1529-1536.
- Métrás R., 2003. *Utilisations et dangers sanitaires microbiologiques liés aux effluents d'élevage*. Thèse de doctorat unique de médecine vétérinaire, Université Claude Bernard, Lyon, France, 150 p.
- Niang S., 1996. Utilisation des eaux usées domestiques en maraîchage périurbain à Dakar (Sénégal). *Sécheresse*, **3**, 217-23.
- Pilet C., Bourdon L., Toma B., Marchal N., Balbastre C., 1981. *Bactériologie médicale et vétérinaire, systématique bactérienne*. Doin, Paris, 431 p.
- Rose N., Beaudreau F., Drouin P., Toux J.Y., Colin R.P., 1999. Risk factors for *Salmonella enterica sub sp. enterica* contamination in French broiler-chicken flocks at the end of the rearing period. *Preventive Veterinary Medicine*, **39**(4), 265-277.
- Santé Canada, 1991. *La qualité bactériologique*. Document de support aux « Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada ».
- Ullah M.S., Islam M.S., Islam M.A., Hague T., 2008. Effects of organic manures and chemical fertilizers on the yield of brinjal and soil properties. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, **6**(2), 271-276.
- Zmirou D., Ferley J.P., Collin J.F., Charrel M., Berlin J., 1987. A follow-up study of gastrointestinal diseases related to bacteriologically substandard drinking water. *American Journal of Public Health*, **77**, 582-584.



## Liste complète des auteurs et leur affiliation

- Abdou Bouba Armand. Institut Supérieur du Sahel, Cameroun. abdouarmand@yahoo.fr
- Abessolo Hélène Nathalie. Université de Yaoundé II, Centre de Recherche en Microéconomie Appliquée, Cameroun. hhelenenathalie@yahoo.fr
- Aboudou Faridath. Laboratoire d'Analyse Régionale et d'expertise Sociale (LARES), République du Bénin. faridath.aboudou@yahoo.fr
- Adima Amissa Augustin. Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse et des Energies Nouvelles, Unité Chimie de l'Eau et des Substances Naturelles, Groupe Polyphénols, BP 1313 Yamoussoukro / Université Nangui Abrogoua d'Abobo-Adjamè. Abidjan, UFR Sciences et Technologies des Aliments, BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Adjanohoun Adolphe. Centre de Recherches Agricoles Sud, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, BP 03 Attogon, République du Bénin.
- Adje Anoh Félix. Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse et des Energies Nouvelles, Unité Chimie de l'Eau et des Substances Naturelles, Groupe Polyphénols, BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire. felix\_adje@yahoo.fr
- Agbo Edith. Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire. ceapadouko@yahoo.fr
- Agbodjato Nadège A. Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire de Biologie et de Typage Moléculaire en Microbiologie, BP 1604 Cotonou, République du Bénin.
- Aïhou K. Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Centre de Recherches Agricoles du Centre, Programme de Recherches Forestières. BP 112 Savè, République du Bénin.
- Akponikpe P. B. Irénikatché. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, République du Bénin.
- Ambagna Jean Joël. Institut Sous-régional de Statistiques et d'Economie Appliquée de Yaoundé. joelambagna@rocketmail.com
- Ambang Zachée. Université de Yaoundé I, Cameroun. zachambang@yahoo.fr
- Andrieu Nadine. Cirad, UMR Innovation, rue Jean François Breton, Montpellier, France. nadine.andrieu@cirad.fr
- Assiedu Ernest Assah. Staple Crops Programme CORAF/WECARD (Conseil Ouest et Centre africain pour la recherche et le développement agricoles), 7 Av. Bourguiba, Dakar, Sénégal. e.asiedu@coraf.org
- Ayamae Oulaï Casimir. Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse et des Energies Nouvelles, Unité Chimie de l'Eau et des Substances Naturelles (UCESNA), Groupe Polyphénols, BP 1313, Yamoussoukro / Université Nangui Abrogoua d'Abobo-Adjamè, UFR Sciences et Technologies des Aliments, BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Baba-Moussa Lamine. Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire de Biologie et de Typage Moléculaire en Microbiologie, BP 1604, Cotonou, République du Bénin. laminesaid@yahoo.fr
- Baco Mohamed Nasser. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, République du Bénin. nasserbaco@yahoo.fr
- Badolo Félix. Centre d'Etudes et de recherches sur le Développement International (CERDI), Clermont-Ferrand, France. felix.badolo@gmail.com
- Bainville Sébastien. Montpellier SupAgro, UMR MOÏSA, France. sebastien.bainville@supagro.inra.fr
- Bakop Roméo. Institut Supérieur du Sahel, Cameroun. bakopromeo@yahoo.fr
- Bankolé Honoré S. Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée, 01 BP 2009 Cotonou, République du Bénin. bahosour@yahoo.fr
- Batamoussi H.M. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Laboratoire de Protection des Végétaux, de Pathologie et de Parasitologie des Abeilles, BP 123 Parakou, République du Bénin.

- Batawila K. Université de Lomé, Faculté des Sciences, Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, BP 1515 Lomé, République du Togo.
- Bayen Philippe. Université de Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre, Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétales, BP 848, Ouagadougou, Burkina Faso. phbayen@yahoo.fr
- Bedzeme Thierry Ghislain. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal. bedzemethierry@yahoo.fr
- Begoude Didier. Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD), Nkolbisson, Yaoundé, Cameroun. dbegoude@yahoo.fr
- Biego Godi Henri. Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody-Abidjan, UFR Biosciences, Laboratoires de Biochimie et Sciences des Aliments, BP 582 Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Bodji Nguessan C. Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Département Agriculture et Ressources Animales, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.
- Bognan Patrice Amon. Ivoire Coton, Côte d'Ivoire.
- Bognounou Fidèle. Université de Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre, Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétales, BP 848 Ouagadougou, Burkina Faso.
- Boko Michel. Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable, Université d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Toxicologie et de Santé Environnementale, BP 1463 Cotonou, République du Bénin. «bokomichel@gmail.com
- Bourland Freddie M. University of Arkansas, Northeast Research & Extension Center, Keiser, Arkansas, USA. fbourland@uaex.edu
- Boyer James. Inra, UMR Innovation, Montpellier, 73 rue JF. Breton, 34398 Montpellier, France.
- Breman Henk. Molenweg, 7396 AC Terwolde, The Netherlands. henkbreman@gmail.com
- Brückner Dorothea. Universität Bremen, Forschungsstelle für Bienenkunde, BP 330440, 28334 Bremen, Germany.
- Cisse Ousmane. Compagnie Malienne de Développement des Textiles. ocisse@yahoo.fr
- Coulibaly Doubangolo. Institut d'Economie Rurale, Mali. doubangolo@yahoo.fr
- Coulibaly Kalifa. Centre Internationale de Recherche Développement sur l'Élevage en Zone Subhumide (CIRDES), Unité de Recherche sur les Productions Animales, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. kalifacoull@yahoo.fr
- Coulibaly S. Centre National de Recherche Agronomique, Station de Recherche Technologique, Côte d'Ivoire.
- Dadie Adjéhi Thomas. Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences et Technologies des Aliments, Laboratoire de Biotechnologie et de Microbiologie des Aliments, BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire. thomasdadie@yahoo.fr
- Dako Etienne. University of Moncton, Faculty of Health Science and Community services, Laboratory of Biotechnology and Molecular Biology, School of Food Science, Nutrition and Family Studies, Canada, E1A 3E9.
- Diallo Amadou M. Centre Internationale de Recherche Développement sur l'Élevage en Zone Subhumide (CIRDES), Unité de Recherche sur les Productions Animales, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
- Djaha Akadié Jean-Baptiste. CNRA, Côte d'Ivoire jbakadie@yahoo.fr
- Dje Marcellin Koffi. Université Nangui Abrogoua, Unité de Formation et de Recherche de Sciences et Technologie des Aliments, Laboratoire de Biotechnologie et de Microbiologie des Aliments, BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Djenontin A. Jonas. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, République du Bénin.
- Djidji Andé Hortense. CNRA, Programme Cultures Maraîchères et Protéagineuses, Côte d'Ivoire. djidjihortense@yahoo.fr
- Djile Bouba. IRAD, Maroua, Section niébé, Cameroun. djilebouba@yahoo.fr
- Djondang Koye. Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement, B.P. 540, N'Djaména, Tchad. djondang\_koye@yahoo.fr

- Dosso Mireille. University of Cocody, Department of Medical Science, Pasteur Institute, Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Dossou Romuald A. Institut National de Recherche Agricole du Bénin (INRAB). radossou2002@yahoo.fr
- Dougnon Jacques T. Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée, BP 2009 Cotonou, République du Bénin. dougnonj@yahoo.fr
- Dougnon Victorien T. Université d'Abomey-Calavi, Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable, Laboratoire de Toxicologie et de Santé Environnementale, BP 1463 Cotonou / Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée, BP 2009 Cotonou, République du Bénin. victorien88@hotmail.com
- Dugué Patrick, Cirad, Montpellier, France. patrick.dugue@cirad.fr
- Eдорh Patrick A. Université d'Abomey-Calavi, Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable, Laboratoire de Toxicologie et de Santé Environnementale, BP 1463 Cotonou / Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biochimie et de Biologie Cellulaire, BP 526 Cotonou, République du Bénin. patrickedorh@yahoo.fr
- Egah Janvier. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, BP 27 Parakou, République du Bénin. egahjanvier@yahoo.fr; egahjanvier@gmail.com
- Fantodji Agathe. Université Nangui Abrogoua, UFR-SN, BP 802 Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Farougou S. Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Recherches en Biologie Appliquée, 01 BP2009 Abomey-Calavi, République du Bénin.
- Fondio Lassina. CNRA/Programme Cultures Maraîchères et Protéagineuses, Côte d'Ivoire. lfondio@yahoo.fr
- Gaiani Claire. Université de Lorraine, Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules, 2, avenue de la Forêt de Haye, BP 172, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France.
- Gandebe Maurice. IRAD WAKWA, Ngaoundere, BP 65, Ngaoundere, Cameroon.
- Gbemavo D.S.J.C. Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, BP 526 Cotonou, République du Bénin.
- Gibigaye Moussa. Laboratoire d'Analyse Régionale et d'expertise Sociale (LARES), République du Bénin. moussa\_gibigaye@yahoo.fr
- Glèlè Kakaï R. Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, BP 526 Cotonou, République du Bénin.
- Glitho E. Université de Lomé, Faculté des Sciences, Laboratoire d'Entomologie Appliquée, BP 1515, Lomé, République du Togo.
- Gnakri Dago. Université Nangui Abrogoua, BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Gnanglè C. P. Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Centre de Recherches Agricoles du Centre, Programme de Recherches Forestières, BP 112 Savè, République du Bénin. gnampaces@yahoo.fr
- Havard Michel. Cirad, UMR Innovation, Montpellier, 73 rue JF. Breton, 34398 Montpellier, France. michel.havard@cirad.fr
- Houngbo N. Emile. Université d'Abomey-Calavi, Ecole Nationale Supérieure des Sciences et Techniques Agronomiques de Kétou. BP 774 Cotonou, Bénin. enomh2@yahoo.fr
- Hounmanou G. Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Recherches en Biologie Appliquée, BP 2009 Abomey-Calavi, République du Bénin.
- Hounnonkpè D. Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Recherches en Biologie Appliquée, BP 2009 Abomey-Calavi, République du Bénin.
- Iritie Bruno Marcel. Département Agriculture et Ressources Animales, Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire. iritiebm@yahoo.fr

- Janin Pierre. IEDES (Université de Paris 1) / Institut de recherche pour le développement, UMR Développement et sociétés, 49 bis, avenue de la Belle Gabrielle, 94736 Nogent sur Marne, France. pierre.janin@ird.fr
- Kachelriess-Matthess Stefan. GIZ(German Agency for International Cooperation), Germany.
- Kaiser Dorkas. University of Würzburg, Departement for Animal Ecology & Tropical Biology, Germany. dorkas.kaiser@biozentrum.uni-wuerzburg.de
- Kane Gilles Quentin. Université de Yaoundé II, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion, Cameroun. kanegilles@gmail.com
- Kanouté Assetou. ADAF-GALE / IPR-Katibougou, Mali. kalilouka@yahoo.fr
- Karou Alfred Tago, Université Felix Houphouët Boigny, Unité de Formation et de Recherche de Biosciences, Côte d'Ivoire.
- Kehe Martin. Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Côte d'Ivoire. martin.kehe@cnra.ci
- Koffi René Ahua. Université Nangui Abrogoua, Unité de Formation et de Recherche de Sciences et Technologie des Aliments, Laboratoire de Biotechnologie et de Microbiologie des Aliments, BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Konan Eric-Arthur. Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Département Agriculture et Ressources Animales, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.
- Kone Daouda. Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire.
- Kosma Philippe. Institut Supérieur du Sahel / Université de Maroua, Cameroun. philippekosma@yahoo.fr
- Koua Toussaint Atobla. Université Nangui Abrogoua, Unité de Formation et de Recherche de Sciences et Technologie des Aliments, Laboratoire de Biotechnologie et de Microbiologie des Aliments, BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Kouadio Kouakou K.A. Université Nangui Abrogoua, BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire. K3armand@yahoo.fr
- Kouame Christophe. ICRAF, Côte d'Ivoire. C.Kouame@cgiar.org
- Kouassi Athanase Kra. Université Nangui Abrogoua, Unité de Formation et de Recherche de Sciences et Technologie des Aliments, Laboratoire de Biotechnologie et de Microbiologie des Aliments, BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire.
- Kouebou C.P. Institute of Agricultural Research for Development, BP 415 Garoua, Cameroon / PRASAC, B.P. 764 Ndjamena, Tchad / CAFOODS (Central Africa Food Data System for INFOODS/FAO). kchristiant@yahoo.fr
- Koura Djibril. Diobass Burkina Faso. djibril\_koura@yahoo.fr
- Koutou Mahamadou. Centre Internationale de Recherche Développement sur l'Élevage en Zone Subhumide (CIRDES), Unité de Recherche sur les Productions Animales, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
- Kpadé Cokou Patrice. Université d'Abomey-Calavi. Ecole Nationale Supérieure des Sciences et Techniques Agronomiques de Kétou, BP 90, Kétou, Bénin. kpadepatrice1@hotmail.com
- Kpodékon T.M. Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Recherches en Biologie Appliquée, BP 2009 Abomey-Calavi, République du Bénin.
- Kwa Moise. Centre Africain de Recherche sur Bananier Plantains, Douala, Cameroun.
- Le Gal Pierre-Yves. Cirad, UMR Innovation, rue Jean François Breton, 34398 Montpellier, France. pierre-yves.le\_gal@cirad.fr
- Linder Michel. Université de Lorraine, Laboratoire d'Ingénierie de Biomolécules, ENSAIA, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France. michel.linder@univ-lorraine.fr
- Loko Frédéric. Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée, 01 BP 2009 Cotonou, République du Bénin. lokofrederic@hotmail.com
- Lokossou Romaric Serge. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, République du Bénin.
- Lozano Yves François. Cirad, UMR 110 INTREPID, 73 avenue J.F. Breton, 34398 Montpellier, France.

- Mabah Tene Gwladys Laure. Université de Yaoundé II, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion. mabahlaure@yahoo.fr
- Mahayo Adolphe. CNRA, Système Agraire et Développement Durable, Côte d'Ivoire. mahyaoadolphe@yahoo.fr
- Mazi Sanda. University of Ngaoundéré, Department of Biological Sciences, BP 454 Ngaoundéré, Cameroon. mazisanda@yahoo.fr
- Mbofung Carl MF. ENSAI, Université de Ngaoundere, BP 455, Ngaoundere, Cameroun.
- Mbome Israël Lape. Food and Nutrition Research Centre (CRAN), Institute of Medical Research and Medicinal Plant Studies, PO Box 6163 Yaounde, Cameroon.
- Mezajoug Kenfack Laurette Blandine. ISS, Université de Maroua, Laboratoire de Biochimie et de Technologie Alimentaire, ENSAI, Université de Ngaoundéré, Cameroun. mezajouglaurette@yahoo.fr
- Minkoua Nzie Jules René. Université de Yaoundé II, Soa, Cameroun. minkouarene@yahoo.fr
- Mongbo Roch L. Université d'Abomey Calavi, Laboratoire d'analyse des dynamiques sociales et du développement (Ladyd), République du Bénin. rochl\_mongbo@yahoo.fr
- Moumouni Moussa Ismaïl. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, République du Bénin. mmismailfr@yahoo.fr
- Moutouama Fidèle T. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, République du Bénin.
- N'Da Adopo Achille. Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Côte d'Ivoire.
- N'Da Kessé Philippe. Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse et des Energies Nouvelles, Unité Chimie de l'Eau et des Substances Naturelles, Groupe Polyphénols, BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.
- N'Gbesso Mako FDP. CNRA, Programme Cultures Maraîchères et Protéagineuses, Côte d'Ivoire. ngbesso2mako@yahoo.fr
- N'Goran Kouadio Emmanuel. Centre National de Recherche Agronomique, Programme Coton, BP 633 Bouaké, Côte d'Ivoire. ngoran-kouadio@yahoo.fr
- N'Guessan Esoi. Centre National de Recherche Agronomique, Programme Coton, BP 633 Bouaké, Côte d'Ivoire. nguessanesso@yahoo.fr
- Nacro Hassan B. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Institut du Développement Rural, Burkina Faso.
- Ndjouenkeu Robert. University of Ngaoundere, National School of Agro-Industrial Sciences (ENSAI), BP 445 Ngaoundere, Cameroon.
- Nekouam Ndomian. Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement. nnekouam@yahoo.com
- Ngakou Albert. University of Ngaoundere, Faculty of Science, Department of Biological Sciences, BP 454, Ngaoundere, Cameroon. alngakou@yahoo.fr/aangakou@gmail.com
- Ngangoum Eric Serges. Université de Ngaoundéré, Laboratoire de Biochimie et de Technologie Alimentaire, ENSAI, BP 455, Cameroun. engangoum@yahoo.com
- Ngo Nonga Fidoline. Université de Yaoundé II, Soa, Cameroun. fiona\_nonga@yahoo.fr
- Ngouambe Nestor. Ministère de l'Agriculture et du Développement rural, Yaoundé, Cameroun. ngouambe@gmail.com
- Niamke Bobélé Florence. Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse et des Energies Nouvelles, Unité Chimie de l'Eau et des Substances Naturelles, Groupe Polyphénols, BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.
- Njintang Nicolas Y. Université de Ngaoundere, Faculté de Science, BP 454 Ngaoundere, Cameroun.
- Noumavo Pacôme A. Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biochimie et de Biologie Cellulaire, Laboratoire de Biologie et de Typage Moléculaire en Microbiologie, BP 1604 Cotonou, République du Bénin.



- Nzali S. PRASAC, B.P. 764 Ndjamen, Tchad / CAFOODS (Central Africa Food Data System for INFOODS/FAO) / Université de Dchang, Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Cameroun. nzaliserge@hotmail.com
- Nzi Jean Claude. Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, Côte d'Ivoire. jcnzi2@yahoo.fr
- Ocho-Anin Atchibri L. Université Nangui Abrogoua, BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire. aninatchibri@yahoo.fr
- Ochou Ochou Germain. Centre National de Recherche Agronomique, Programme Coton, 01 BP 633 Bouaké 01, Côte d'Ivoire. ochougo@aviso.ci
- Ouattara B. Marcel. INERA/Programme coton, Burkina Faso.
- Oumarou Yakouba. Université de Maroua-Cameroun / Institut Supérieur du Sahel, Département d'Agriculture d'Elevage et des Produits Dérivées, Cameroun. iscamle@yahoo.fr
- Panyoo Emmanuel A. ENSAI, Université de Ngaoundere, B.P 455, Ngaoundere, Cameroun / Université de Lorraine, Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules, 2, avenue de la Forêt de Haye, BP 172, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France. panyoo2007@yahoo.fr
- Paraïso Armand A. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Laboratoire de Pathologie et de Parasitologie des Abeilles, Protection des Végétaux, BP 123 Parakou, République du Bénin. arparaïso@yahoo.fr / armand.paraïso@fa-up.bj
- Peltzer Roger. DEG, Cologne, Germany.
- Rastoin Jean-Louis. Chaire UNESCO et réseau Unitwin en «Alimentations du monde». rastoin@supagro.inra.fr, <http://www.chaireunesco-adm.com/>
- Requier-Desjardins Denis. Université de Toulouse, Institut d'Etudes politiques, Toulouse, France.
- Sadou Fernand. Sodecoton, Cameroun.
- Saka Abdou Kadiri K. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, République du Bénin. lafbio@yahoo.fr
- Sangaré Mamadou. Centre Internationale de Recherche Développement sur l'Elevage en Zone Subhumide (CIRDES), Unité de Recherche sur les Productions Animales, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.
- Scher Joël. Université de Lorraine, Laboratoire d'Ingénierie des Biomolécules, 2, avenue de la Forêt de Haye, BP 172, 54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France.
- Sedogo Michel P. Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Kamboinsin (Ouagadougou), Burkina Faso.
- Sekloka E. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Département de Production végétale, BP 123 Parakou, République du Bénin.
- Sempore Aristide Wendyam. Centre International de Recherche-Développement sur l'Elevage en zone Subhumide (CIRDES), Bobo-Dioulasso / Institut du Développement Rural de l'Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. semporearistide@yahoo.fr
- Sibiri Jean Zoundi. Secrétariat du Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest (CSAO/OCDE), 2 rue André Pascal, 75775 Paris, France. sibirijean.zoundi@oecd.org
- Sissoko Fagaye. Institut d'Economie Rurale, Mali. fagaye\_sissoko@yahoo.fr
- Sokenou F. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie Laboratoire de Pathologie et de Parasitologie des Abeilles, Protection des Végétaux, BP 123 Parakou, République du Bénin. agrobiobenin@hotmail.com
- Sokpon Nestor. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, BP 123 Parakou, République du Bénin.
- Soro Sibirina. Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire. soro\_sibiri@yahoo.fr
- Soule Bio Goura. Laboratoire d'Analyse Régionale et d'expertise Sociale (LARES), République du Bénin. soule\_goura@yahoo.fr
- Tamo Manuele. IITA, Plant Health Management Division, Cotonou, Benin.
- Tano Augustin. Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse et des Energies Nouvelles, Unité Chimie de l'Eau et des Substances Naturelles, Groupe Polyphénols, BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.

- Tchibozo H.J.H. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Laboratoire de Pathologie et de Parasitologie des Abeilles, Protection des Végétaux, BP 123 Parakou, République du Bénin. [agrobiobenin@hotmail.com](mailto:agrobiobenin@hotmail.com)
- Tchuengem Fohouo Fernand-Nestor. University of Ngaoundéré, Department of Biological Sciences, BP 454, Ngaoundéré, Cameroon. [nt.foho@gmail.com](mailto:nt.foho@gmail.com)
- Tehia Kouakou Etienne. Centre National de Recherche Agronomique, Programme Coton, BP 633 Bouaké, Côte d'Ivoire. [tehiako@yahoo.fr](mailto:tehiako@yahoo.fr)
- Temple Ludovic. Cirad, UMR Innovation Montpellier, 73 rue JF. Breton, 34398 Montpellier, France. [ludovic.temple@cirad.fr](mailto:ludovic.temple@cirad.fr)
- Ten Hoopen Martijns. Cirad, Montpellier, France. [tenhoopen@cirad.fr](mailto:tenhoopen@cirad.fr)
- Thiombiano Adjima. Université de Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre, Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétales, BP 848 Ouagadougou, Burkina Faso.
- Tossou Rigobert. Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, République du Bénin.
- Toure Yacouba. Ivoire Coton, Côte d'Ivoire.
- Touzard Jean Marc. Inra, UMR Innovation, Montpellier, 73 rue JF. Breton, 34398 Montpellier, France.
- Traore Fousseni. International Food Policy Research Institute. Fousseini. [Traore@cgiar.org](mailto:Traore@cgiar.org)
- Traore Salif. Université de Ouagadougou, Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre, Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétales, BP 848 Ouagadougou, Burkina Faso.
- Vognan Gaspard, INERA, Burkina Faso. [vognang@yahoo.fr](mailto:vognang@yahoo.fr)
- Voss Anneke. GIZ (German Agency for International Cooperation), Germany. [anneke.voss@giz.de](mailto:anneke.voss@giz.de)
- Wandan Eboua N. Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Département Eaux Forêts & Environnement, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.
- Wey Joseph. Cirad, Innovation et Développement dans l'Agriculture et l'Agro-alimentaire, UMR Innovation, Montpellier, France.
- Yabi A.J. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Département d'Economie et de Sociologie rurale, BP 123, Parakou, République du Bénin.
- Yadang Germaine. Food and Nutrition Research Centre (CRAN), Institute of Medical Research and Medicinal Plant Studies, BP 6163 Yaounde, Cameroon. [yadangermaine@yahoo.fr](mailto:yadangermaine@yahoo.fr)
- Yapi Magloire. Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny, Département Agriculture et Ressources Animales, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.
- Yegbemey R.N. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Département d'Economie et de Sociologie rurale, BP 123, Parakou, République du Bénin / Agricultural Economics and Related Sciences Justus-Liebig Universität Gießen, Germany.
- Yéyi Constantin. Laboratoire de Pathologie et de Parasitologie des Abeilles, Protection des Végétaux, Parakou, République du Bénin. [agrobiobenin@hotmail.com](mailto:agrobiobenin@hotmail.com)
- Yogo Thierry. Centre de Recherche en Economie et Gestion (CEREG), Université de Yaoundé II, Soa, Cameroun. [yogout@gmail.com](mailto:yogout@gmail.com)
- Yoro Gballou René. Centre National de Recherche Agronomique, Laboratoire Central, Sols, Eaux et Plantes, BP 633 Bouaké, Côte d'Ivoire. [yororenegballou@yahoo.fr](mailto:yororenegballou@yahoo.fr)
- Zocancounon A. D. Université de Parakou, Faculté d'Agronomie, Laboratoire de Pathologie et de Parasitologie des Abeilles, Protection des Végétaux, BP 123 Parakou, République du Bénin. [agrobiobenin@hotmail.com](mailto:agrobiobenin@hotmail.com)
- Zohouri Goli Pierre. Centre National de Recherche Agronomique, Programme Plantes à Racines et Tubercules, BP 633 Bouaké, Côte d'Ivoire. [gpzohouri@yahoo.fr](mailto:gpzohouri@yahoo.fr)
- Zongo Léon. Diobass Burkina Faso. [zongolon@yahoo.fr](mailto:zongolon@yahoo.fr)





Foreign Affairs, Trade and  
Development Canada

Affaires étrangères, Commerce  
et Développement Canada



**THE WORLD BANK**  
IBRD • IDA | WORLD BANK GROUP



### Une conférence soutenue par des institutions du Nord et du Sud

La conférence AGRAR en 2013 a été prévue dans la conduite du Projet AFOMDnet dans le cadre du Programme ACP pour la Science et la Technologie avec le soutien de l'Union Européenne. Elle n'aurait cependant pu avoir lieu sans l'adhésion et le soutien – directs ou indirects – mais aussi la participation d'un nombre conséquent d'institutions du Nord et du Sud.

La conférence AGRAR (pour « AGRiculture, Alimentation et Recherche »), une conférence par et pour la recherche agronomique en Afrique, a été conçue pour perdurer. Il est espéré que le partage des travaux conduits en Afrique se poursuive. C'est l'objectif de la publication de ces Actes.



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization



UNESCO Chair in  
World Food Systems  
France



Montpellier  
International Centre  
for Higher Education  
in Agriculture Sciences



**agreenium**  
Science for food security and  
sustainable agriculture

ISBN 978-2-87016-138-8

Mise en pages : Verniers Dominique  
Impression : Bietlot à Gilly (Belgique)



9 782870 161388